МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Ю. И. КОЗЮРЕНКО

ЗВУКОЗАПИСЬ С МИКРОФОНА



МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

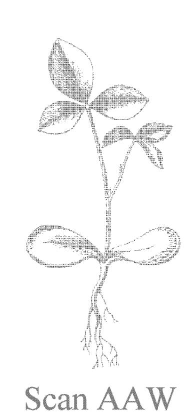
Выпуск 875

Ю. И. Козюренко

ЗВУКОЗАПИСЬ С МИКРОФОНА



«Энергия»
Москва 1975



6Ф2.7
К 59

УДК 681.84.083.8

Козюренко Ю. И.

К59 Звукозапись с микрофона. М., «Энергия», 1975.

120 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 875)

Рассматриваются практические вопросы и технология микрофонной записи различных программ. Приводятся структурные и схемные решения отдельных элементов тракта звукозаписи. Даются рекомендации по выбору оптимальных режимов записи.

Книга рассчитана в основном на радиолюбителей, интересующихся магнитной звукозаписью.

К $\frac{30403\text{-}070}{051(01)\text{-}75}$ 345-75 6Ф2.7

Юрий Иванович Козюренко

Звукозапись с микрофона

Редактор С. Д. Богданов
Редактор издательства Ф. И. Тарасов
Обложка художника А. А. Иванова
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Технический редактор М. П. Осипова
Корректор Н. А. Войтенко

Сдано в набор 16/X 1974 г. Подписано к печати 9/I 1975 г. Т-03312.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 6,3.
Уч.-изд. л. 8,65. Тираж 100 000 экз. Зак. 384. Цена 36 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Любительская звукозапись получила в наше время широкое распространение. Для пополнения домашних фонотек любители чаще всего обращаются к перезаписи магнитных фонограмм, грампластинок, к записи с приемника, телевизора, радиотрансляционной линии. Такая запись не представляет особых трудностей и хорошо освоена большинством любителей.

Вместе с тем любителей звукозаписи, в том числе и радиолюбителей, все больше и больше привлекает микрофонная запись. Этому способствует бурный рост любительских киностудий и клубов, самодеятельных и народных театров, создание полупрофессиональных студий звукозаписи на предприятиях и в учебных заведениях. Самодеятельные звукорежиссеры обращаются к записи речи, пения, музыки, шумов, к созданию различных звуковых эффектов при озвучивании кинофильмов, звуковом оформлении спектаклей, организации различных культурно-массовых мероприятий и местного вещания.

Для проведения микрофонной записи недостаточно только хорошо разбираться в звукозаписывающей аппартуре и обладать соответствующими навыками. Необходимы еще и определенные акустические условия в помещении записи. Не менее важно и то, что каждая запись требует своего творческого подхода. Наибольшие сложности возникают при записи музыкальных произведений. Человек, ведущий такую запись, должен обладать определенной музыкальной культурой острым слухом, чувством ритма, ему должны быть известны хотя бы основные сведения о творчестве чтеца, музыканта, певца, дирижера, а также особенности звучания музыкальных, инструментов и их роль в том или ином ансамбле.

Руководствуясь авторской партитурой, учитывая особенности исполнительского воплощения записываемого произведения, звукорежиссер принимает те или иные решения по использованию конкретных технических средств для достижения определенных художественных задач. Нередко звукорежиссер должен организовать процесс записи так, чтобы в звучании записываемого произведения проявились исполнительские качества, которых трудно или невозможно достичь в процессе исполнения. Широкое использование искусственной реверберации, эффектов эхо, сверхкрупных звуковых планов, специальной частотной коррекции голосов и инструментов, компрессирования динамического диапазона и других возможностей современной аппаратуры создало в настоящее время определенные художественные и технические нормы звукозаписи. Сложившаяся в соответствии с этим технология запи-

си делает звукорежиссера в известной мере соисполнителем записываемого произведения.

Автором этой книги не ставилась задача дать читателю полное представление о всех вопросах, связанных с техникой и технологией работы звукорежиссера при проведении микрофонной записи. Некоторые вопросы (устройство и принцип действия микрофонов, схемные решения микрофонных усилителей и микшерских пультов, настройка и регулировка магнитофона перед записью и др.) достаточно полно освещены в соответствующей научно-популярной литературе. Другие, специальные вопросы, определяющие сугубо профессиональный аспект работы звукорежиссера, выходят за рамки настоящего издания. Тем не менее автор надеется, что его книга не только познакомит начинающего звукорежиссера с особенностями микрофонной записи, но и окажет практическую помощь в проведении такой записи.

В книге последовательно разбираются вопросы подготовки микрофонной записи применительно к любительским условиям, рассматриваются техника и технология регулирования, приемы обработки и контроля записываемой программы. Хотелось бы особо обратить внимание на то, что никакие технические сведения сами по себе не дают возможности высококачественно провести даже несложную микрофонную запись. По этой причине наряду с указанными вопросами в книге рассматриваются также некоторые творческие аспекты записи. Для более глубокого ознакомления с предметом автор рекомендует соответствующую литературу, указанную в конце книги.

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСОБЕННОСТИ МИКРОФОННОЙ ЗАПИСИ

1. Типовая блок-схема аппаратной звукозаписи

Основной комплекс технических средств, необходимых для проведения микрофонной записи, обычно размещается в специально выделенном помещении — аппаратной звукозаписи. Микрофоны, а также громкоговоритель для связи звукорежиссера с исполнителями устанавливают непосредственно в помещении записи.

В аппаратной размещают микшерский пульт, магнитофоны и контрольные устройства — индикатор уровня и акустический агрегат. Кроме того, в аппаратной может быть установлен ревербератор и другая необходимая аппаратура.

Основным элементом аппаратной является микшерский пульт, предназначенный для усиления, регулировки и смешивания в нужных соотношениях сигналов от разных звуковых источников, из которых компонуется записываемая программа. В зависимости от назначения и технологических задач записи применяются микшерские устройства различной конструкции.

На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема аппаратной звукозаписи, которая может быть использована в любительской практике.

Сигналы с микрофонов M_1, M_2 и M_3 подаются на вход микрофонных усилителей *МУ*. Так как напряжение сигнала, поступающего от микрофона на вход микрофонного усилителя, не превышает единиц милливольта (а иногда и меньше), то уровень собственных шумов такого усилителя должен быть очень малым. Обычно, чтобы повысить напряжение входного сигнала и тем самым увеличить отношение уровня этого сигнала к уровню собственных шумов усилителя, на входе микрофонного усилителя устанавливается хорошо экранированный входной повышающий трансформатор.

С выхода микрофонного усилителя сигнал попадает на индивидуальный регулятор уровня *РИ*. Эта часть пульта необходима для поддержания нормального уровня сигнала и регулировки динамического диапазона программы.

После индивидуальных регуляторов уровня сигналы от всех микрофонов через разделительные резисторы *R* смешиваются на входе общего регулятора уровня *РО*, после которого суммарный сигнал подается на линейный усилитель *ЛУ*. Разделительные резисторы необходимы для того, чтобы уменьшить взаимное влияние выходных сопротивлений каждого из микрофонных каналов. Общий регулятор уровня нужен для установки уровня смешанного, суммарного сигнала от всех микрофонов. Линейный усилитель обеспечивает необходи-

мое по величине напряжение сигнала, поступающее на вход усилителя записи магнитофона *УЗ*.

На вход общего регулятора уровня параллельно выходам микрофонных каналов подведены линии от других источников программы, например от усилителя воспроизведения магнитофона, электропроигрывающего устройства, городской радиотрансляции. Такие источники имеют, как правило, номинальное значение выходного

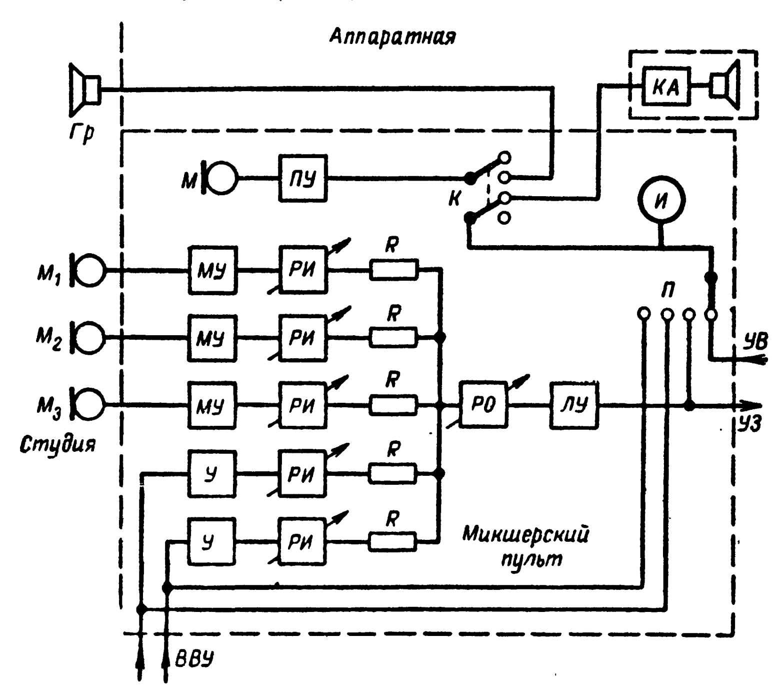


Рис. 1. Типовая блок-схема аппаратной звукозаписи.

напряжения от долей вольта до нескольких вольт, что значительно превышает выходное напряжение микрофона. Поэтому соединительные линии называют «входами высокого уровня» или «линейными входами». Сигнал высокого уровня, подаваемый на вход пульта, попадает прежде всего на так называемый удлинитель *У*, представляющий собой набор аттенюаторов (делителей напряжения). В зависимости от напряжения, развиваемого источником сигнала, переключателем удлинителя подбирают затухание, вносимое в линию, так, чтобы согласовать все уровни в общей цепи пульта и тем самым избежать перегрузки линейного усилителя.

Подобные удлинители желательно иметь и на микрофонных входах пульта. В этом случае микрофонный вход будет универсальным, т. е. может работать как от микрофонов различной чувствительности, так и от источников сигнала высокого уровня.

Кроме удлинителей на входах высокого уровня установлены также свои индивидуальные регуляторы уровня. Таким образом, меняя положение движков индивидуальных регуляторов в микрофонных линиях и в линиях высокого уровня, можно устанавливать в процессе записи необходимое соотношение уровней звуковых компонентов, составляющих программу. Это дает возможность производить художественный монтаж различных программ, например «наложить» речь на ранее записанную музыку, составить сложную шумовую программу, записать певца под фонограмму и т. п.

Для проверки записываемой фонограммы ведут как объективный контроль по индикатору уровня *И*, так и субъективный с помощью контрольного акустического агрегата *КА*. Оба эти устройства при помощи переключателя *П* могут быть подключены к различным точкам тракта звукозаписи, в зависимости от рода проводимой работы.

Непосредственно при записи сигнал контролируется на выходе усилителя воспроизведения магнитофона. Переключая контрольные устройства на выход микшерского пульта, можно вести сравнительную оценку качества и поступающего на вход магнитофона, и уже записанного сигнала.

Громкоговоритель *Гр*, установленный в студии для переговора звукорежиссера с исполнителями, подключается ключом *К* к переговорному усилителю *ПУ*, работающему от микрофона *М*, установленного на пульте. Во время переговора контрольный агрегат либо отключается, либо его громкость автоматически уменьшается до уровней, исключающих возможность завязки. Если этого не предусмотреть, то усиленный контрольным агрегатом звуковой сигнал из студии через переговорный микрофон попадает снова в студию, еще раз усиливается и, таким образом, многократно повторяя свой путь, вызывает самовозбуждение системы (генерацию). Во время перерывов в записи исполнители связываются со звукорежиссером по основному каналу записи через контрольный агрегат при его подключении к выходу пульта.

В процессе звукозаписи должна быть предусмотрена возможность трансляции записанной программы с магнитофона из аппаратной в студию для прослушивания исполнителями, а также для проведения записи солистов или отдельных групп музыкантов под фонограмму (подробнее об этом будет сказано ниже).

Кроме указанных выше основных элементов микшерский пульт может содержать и ряд других устройств, необходимых для обработки записываемого сигнала, таких, например, как различные частотные фильтры, корректоры, сжиматели, ограничители максимального уровня. Конструкция и схема пульта должны предусматривать возможность раздельной подачи входных (индивидуальных) сигналов и общего сигнала на тракт ревербератора с подключением этого тракта до или после соответствующего регулятора уровня. Все эти устройства существенно расширяют возможности звукозаписи.

Нередко подобные аппаратные используются не только для записи и перезаписи, но также и для звукового сопровождения кинофильмов, спектаклей, звукоусиления музыкальных ансамблей, певцов, ораторов. Поэтому на практике рассмотренная блок-схема может видоизменяться в соответствии с местными условиями, задачами звукозаписи и усиления, а также и техническими возможностями.

2. Основные акустические требования к помещению для записи

Акустические свойства помещения очень сильно влияют на характер звучания исполняемой в нем музыки и речи. Это влияние обусловлено наличием звуков, пришедших к слушателю (или к микрофону) не только непосредственно от исполнителя, но и после отражений от стен, потолка, пола, а также от различных предметов, находящихся в помещении. Поэтому при выключении источника звук не пропадает мгновенно, а замирает в течение какого-то определенного для данного помещения времени.

Такое постепенное замирание (затухание) звука в помещении (послезвучание) называется реверберацией. От скорости затухания звука зависит время существования отзвука в помещении, называемое временем реверберации. Время это тем больше, чем меньше звуковой энергии поглощается ограничивающими помещение поверхностями и расположенными в нем предметами.

Поглощение звука зависит от размеров помещения, свойств материалов, покрывающих стены, потолок и пол, а также от заполнения помещения слушателями (исполнителями) и различными предметами. Например, гладкие крашеные стены, застекленные окна, паркет, полированная мебель — хорошие отражатели. Звуковая энергия при встрече с ними поглощается в малых количествах. Ковры же, мягкая мебель, тяжелые матерчатые драпировки — хорошие поглотители. Наличие их в помещении резко сокращает время реверберации. Хорошим поглощением обладает и одежда людей. Чем больше людей в помещении, тем быстрее затухает звук.

В помещениях с большим временем реверберации речь теряет разборчивость, музыка звучит более пространственно, расплывчато. В сильно заглушенных помещениях, где поглощение звуковой энергии идет быстро и время реверберации мало, речь и музыка звучат глухо, звук лишается сочности и естественной окраски.

Для сравнения помещений по их акустическим свойствам используют понятие — время стандартной реверберации (время, за которое интенсивность звука в помещении после выключения источника достигает одной миллионной части своей начальной величины). Так как плотность звуковой энергии и интенсивность звука пропорциональны квадрату звукового давления в данной точке пространства, то звуковое давление за тот же промежуток времени уменьшается в тысячу раз по сравнению с первоначальным значением. Это соответствует уменьшению уровня силы звука и звукового давления N на 60 дБ. На рис. 2 приведен график процесса реверберации. Время стандартной реверберации соответствует интервалу T. Это первая и основная характеристика акустических свойств помещения.

Опыт показал, что для наилучшего (оптимального) звучания той или иной звуковой программы время стандартной реверберации в помещении должно быть различным. Ориентировочно оптимальное время реверберации T для различных программ в зависимости от объема помещения V может быть определено по кривым, приведенным на рис. 3.

Второй важной характеристикой акустических свойств студий является частотная характеристика времени реверберации или зависимость времени реверберации от частоты звукового сигнала.

Энергия колебаний различных частот звукового диапазона поглощается одними и теми же материалами по-разному. Например, ковры, мягкая мебель, драпировки поглощают энергию высоких частот сильнее, нежели энергию низких частот. В помещении с подобными поглотителями время реверберации будет большее на низших звуковых частотах и меньшее на высших. Это приводит к значительному искажению тембра передачи (звучание становится глухим и бубнящим). Поэтому помещения, используемые для записи, должны иметь определенную частотную характеристику времени реверберации.

Оптимальная частотная характеристика реверберации зависит от назначения данного помещения. Так, например, в речевых студиях

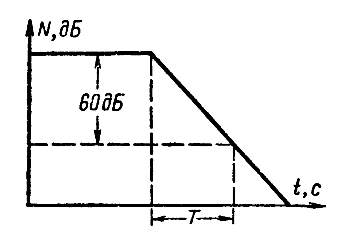


Рис. 2. Спадание уровня силы звука в помещении.

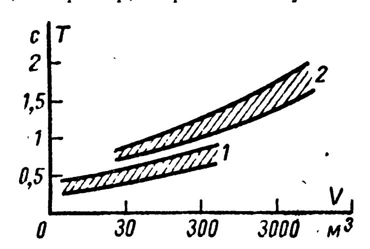


Рис. 3. Оптимальное время реверберации.

1 — для речевых; 2 — для музыкальных студий.

частотная характеристика времени реверберации должна быть горизонтальной и спадать в области низких частот (от 250 Гц) на 20—30%. Это необходимо для того, чтобы повысить разборчивость речи, ослабив возникающие в помещениях малых объемов нежелательные резонансы, которые на слух воспринимаются как «бубнение» записи. В студиях, предназначенных для исполнения эстрадной музыки, реверберация на низких и высоких частотах должна быть уменьшена по сравнению со средними частотами. Объясняется это тем, что инструменты в эстрадных оркестрах создают высокие уровни звучания в области как самых низких, так и наиболее высоких частот. На рис. 4 показаны предпочтительные частотные характеристики времени реверберации для студий различного назначения.

Для получения оптимального времени реверберации и необходимой частотной характеристики производят акустическую обработку помещения Стены и потолок для этого покрывают специальными звукопоглощающими материалами и конструкциями, называемыми абсорбентами.

Абсорбенты применяются двух типов: низкочастотные и высокочастотные. К высокочастотным абсорбентам, поглощающим энергию высоких звуковых частот, относятся пористые материалы типа древесноволокнистых плит, оргалит, маты из различной ваты (стеклянной, капроновой, асбестовой), матерчатые драпировки, ковры и т. п.

Для выравнивания частотной характеристики времени реверберации наряду с высокочастотными поглотителями и в комбинации с ними применяются также специальные конструкции, поглощающие

преимущественно энергию низших звуковых частот. Одна из наиболее часто применяемых конструкций такого типа представляет собой слой пористого поглотителя 8—10 см толщиной, покрытого жестким перфорированным материалом, например фанерой с круглыми отверстиями диаметром 5—6 мм, расположенными на расстоянии 25—40 мм друг от друга. Звуковые волны высших частот, падая на перфорированную поверхность, отражаются от нее и проходят внутрь поглощающего слоя только в тех местах, где имеются отверстия. Так как площадь отверстий невелика по сравнению с общей площадью конструкции, звуковая энергия высших частот поглощается весьма незначительно. Низшие же частоты благодаря явлению дифракции могут огибать препятствия, поэтому с понижением частоты доля проходящей сквозь отверстия перфорации звуковой энергии увеличивается, а следовательно, растет и поглощение.

Рис. 4. Частотные характеристики времени реверберации.

1 — речевые студии; *2* — студии и залы общего назначения; *3* — большие музыкальные студии.

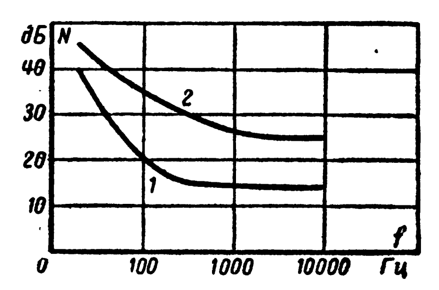


Рис. 5. Допустимые уровни шумов.

1 — в специализированных студиях звукозаписи; *2* — в иных помещениях, используемых для звукозаписи.

Помещения, используемые для записи, должны иметь хорошую звукоизоляцию, чтобы проникающие извне посторонние шумы не мешали записи. В специализированных студиях звукозаписи допустимый максимальный уровень шума, проникающего в студию с улицы или из соседнего помещения, не должен превышать нулевой акустический уровень более чем на 15—20 дБ.

Если за стеной студии находится улица с оживленным движением транспорта, уровень шума которой, как показывают измерения, равен примерно 90 дБ, то звукоизоляция, т. е. поглощающая способность студийных стен, должна быть не менее 90—15=75 дБ. Это требование обеспечивается специальной конструкцией студийных ограждений (стен, потолка, пола), а также устройством при выходах тамбуров с тяжелыми дверями, снабженными плотным притвором. Окна в студиях, как правило, отсутствуют, за исключением специального звукоизолированного смотрового окна, выходящего в смежную со студией аппаратную.

В любительских условиях допустимый уровень проникающих в помещения шумов может быть несколько выше, но не превышать 20—30 дБ. Частотные характеристики допустимого уровня шума в профессиональных студиях звукозаписи и в иных помещениях, используемых для записи, показаны на рис. 5.

Хорошая звукоизоляция помещения, так же как и акустическая обработка, — не только сложное, но и дорогостоящее мероприятие. Поэтому в каждом конкретном случае звукоизоляцию помещения следует проводить, руководствуясь местными условиями и возможностями.

Звук проходит главным образом через открытые окна, двери, вентиляционные отверстия и т. п. Щели, скважины и отверстия в окнах, дверях, стенах и других поверхностях помещения также могут служить значительным источником шума. Поэтому особое внимание необходимо обратить на тщательную изоляцию дверей и окон. Двери должны быть точно пригнаны, а переплеты рам заклеены.

Если выбранное помещение для записи примыкает к шумной улице и звукоизоляция стен недостаточна, то запись желательно проводить в вечерние часы, когда городской шум несколько стихает.

Одной из причин искажения тембра звука может быть резонанс. Резонировать в помещении могут оконные стекла, деревянные тонкие панели, различные части обстановки и оборудования. Поэтому стекла в оконных рамах и остальные резонирующие детали надо плотно укрепить.

Если помещение освещается люминесцентными лампами, то их на время записи необходимо выключать, так как лампы могут создавать достаточно большой уровень низкочастотного шума. В этом случае освещать помещение можно переносными источниками света с обычными лампами накаливания.

Наряду со звукоизоляцией помещения, проводимой всеми доступными средствами и мерами, следует упомянуть о шумах, возникающих или, вернее, создаваемых во время записи внутри помещения. Сюда относятся передвижение исполнителей, скрипы и стуки мебели, музыкальных инструментов, перелистывание нотного текста, шепот и другие помехи, воспринимаемые микрофоном. Чтобы понять значимость этих помех, приводим результаты измерения уровня некоторых характерных шумов (измерения проводились на расстоянии 1 м от источника шума): речь шопотом 25—30 дБ; шаги по ковру 30 дБ; передвижение стула по паркету 70 дБ; перелистывание листов бумаги до 50 дБ; часть исполнителей во время записи «осторожно» встает и уходит из помещения, это составит 35—40 дБ. Основная мера борьбы против большинства этих помех — соблюдение при записи самой жесткой звуковой дисциплины.

3. Выбор помещения для записи

В любительских условиях для записи тех или иных исполнителей могут быть использованы различные помещения: сцена, зрительный зал, репетиционные залы, фойе клуба и дома культуры, актовый зал, большие аудитории, классные комнаты в учебных заведениях и пр. В каждом отдельном случае помещение выбирают с учетом его акустических особенностей, числа исполнителей и характера записываемого материала. Следует также учитывать перспективные возможности акустической обработки и звукоизоляции помещения.

Помещение для записи речи желательно выбирать площадью 12—15 м². Акустическую обработку такого помещения выполняют с расчетом на небольшое время реверберации (0,5—0,6 с). Как уже указывалось, на низших частотах (от 250 Гц и ниже) время реверберации должно быть еще меньше (0,3—0,4 с). Простым способом создания требуемых акустических условий является драпировка поверхностей выбранного помещения плотным материалом — коврами, тяжелым драпировочным материалом с ворсом и пр Пол помещения рекомендуется застелить ковром. Однако заглушение должно быть произведено в меру, иначе это приведет к «бубнению» звука и речь станет неразборчивой. В такой импровизированной студии можно записывать не только речь, но и отдельные музыкальные инструменты (гитару, баян, аккордеон и др.).

При выборе помещения для записи музыкальных ансамблей в первую очередь следует руководствоваться числом исполнителей. В табл. 1 приведены рекомендуемые размеры помещений для записи в зависимости от числа исполнителей.

Таблица 1

Вид записи	Площадь, м²	Высота, м	Число исполнителей
Запись речи и отдельных исполнителей на музыкальных инструментах	15—25	3—3,5	—
Запись камерных квартетов, секстетов и эстрадных групп	25—50	3,5—4	4—10
Запись небольших оркестровых групп и солистов	50—80	4—4,5	10—15
Запись театрального оркестра, симфонических и эстрадных произведений	100—180	5—6	20
Запись оркестра среднего и большого состава	200—300	7—8	50—75

Кроме количественного состава исполнителей следует учитывать также и род ансамбля. Так, например, при одинаковом числе исполнителей в оркестре народных инструментов, симфоническом и духовом оркестрах звучание их весьма различно по мощности. Чем сильнее действительное звучание ансамбля, тем больший объем помещения требуется для его высококачественной записи. Из упомянутых здесь трех исполнительских коллективов духовой оркестр требует наибольшей, а оркестр народных инструментов наименьшей кубатуры помещения.

В общем случае можно руководствоваться тем, что при музыкальной записи на каждого исполнителя должно приходиться не менее 25—30 м³ объема выбранного помещения. В профессиональной звукозаписи эти нормы еще выше (40 м³ и более). Можно ориентироваться и таким соотношением площади помещения для записи: если

принять площадь, необходимую для одного исполнителя, равной 2 м^2, то площадь под размещение микрофонов должна быть равна удвоенной площади, занимаемой всеми исполнителями. Так, например, если запись музыкального ансамбля в составе 10—15 человек проводится в помещении с общей площадью пола 80—90 м^2, то исполнителей необходимо разместить на площади 30 м^2, а остальная площадь должна служить для размещения микрофонов.

Следует иметь в виду, что чрезмерное заполнение помещения исполнителями приводит к значительному повышению среднего уровня громкости, т. е. акустической перегрузке помещения. Повышенная громкость звучания лишает исполнителей и дирижера чувства пропорции, благодаря которому они соизмеряют свое исполнение и динамику произведения со звучанием ансамбля в целом. Кроме того, в помещении малых размеров при небольших расстояниях от исполнителей до микрофона последний попадает в зону, где преобладает прямой звук. Это вызывает искажение перспективы звучания произведения в целом и необоснованное выделение отдельных групп и инструментов оркестра. Между тем в большом помещении, когда весь ансамбль удален от микрофона на достаточное расстояние, микрофон находится в зоне преобладания диффузного поля от действия всех источников. Это обстоятельство благоприятно в том отношении, что отдельные наиболее близкие к микрофону инструменты или их группы не выделяются на общем фоне и не нарушают тем самым звуковой перспективы музыкального произведения.

На качество записи может влиять и форма помещения. Из двух разновидностей помещений, пригодных для записи, при выборе следует отдавать предпочтение помещению, имеющему соотношение сторон, близкое к так называемому «золотому сечению». Отношение размеров помещения (длина, ширина и высота) должно быть равно отношению чисел 5 : 3 : 2 или 2,6 : 1,6 : 1. Такое соотношение сторон желательно как с акустической, так и с эксплуатационной точек зрения. С точки зрения акустики оно дает более выгодное распределение собственных частот помещения, что увеличивает диффузность звукового поля в помещении, а с точки зрения эксплуатации при таком соотношении удобнее размещать исполнителей.

Для создания необходимой акустической обстановки и, в частности, оптимального времени реверберации для данного вида музыки наиболее простым способом в любительских условиях является завешивание всех стен помещения различным материалом. Например, если для записи предполагается использовать актовый зал, большую аудиторию или репетиционное помещение в клубе, то под потолком помещения по всему его периметру устанавливают штанги, к которым и подвешивают на кольцах мягкий звукопоглощающий материал. Такой способ позволяет достаточно гибко регулировать акустику помещения. Часть помещения, например ту, где размещаются микрофоны, можно задрапировать тяжелым материалом с большим коэффициентом звукопоглощения, а другую часть, где размещаются исполнители, оставить открытой или задрапировать легкой тканью. Изменяя площадь драпировки всех стен, сдвигая и раздвигая материал, можно создать более или менее оптимальную акустическую обстановку для записи. Для получения локальных акустических условий отдельные музыкальные инструменты или группы инструментов огораживают ширмами и акустическими щитами из звукопоглощающего материала.

Все эти требования к звукоизоляции помещения справедливы и при записи в фойе клуба или Дворца культуры, но осуществить их в этом случае значительно труднее. Дело в том, что непосредственно к основному помещению фойе, как правило, примыкают коридоры, лестницы, кулуары и пр., а это создает определенные акустические сложности. Место расположения музыкального ансамбля при записи в фойе выбирается опытным путем. Колонны, различные архитектурные украшения, обстановка интерьера, а также лепные украшения на стенах и потолке могут способствовать улучшению диффузности звукового поля в этом помещении. Однако надо учесть, что отдельные элементы архитектурного убранства помещения способны фокусировать и направленно отражать звуковые волны, поэтому в таких помещениях могут возникать различные акустические дефекты в виде чрезмерной реверберации, резонансов, стоячих волн, мертвых зон и т. п. Все это может повлечь за собой искажения при записи.

Наиболее часто в любительских условиях запись музыкальных ансамблей проводят на сцене в клубе или Дворце культуры. При размещении ансамбля можно использовать как сценическую коробку, так и просцениум, выступающий в зрительный зал. Если боковые поверхности сцены имеют твердое покрытие (бетон, кирпич, штукатурка), то время реверберации сценической коробки может быть достаточно большим. Существенным образом могут влиять на реверберацию декорации, деревянные щиты, размещенные по сторонам коробки. Однако следует отметить, что при громкой игре музыкантов отдельные элементы декорации, а также стекла в осветительской аппаратуре способны резонировать. Поэтому перед записью сцену желательно «одеть», иначе говоря, подвесить на штанкетах мягкие кулисы. Необходимое количество кулис для снижения времени реверберации выбирается экспериментально и определяется пробными записями.

Существенно может влиять на акустику сцены сценический занавес. Полностью закрытый занавес создает большое звукопоглощение. Меняя раскрытие занавеса, т. е. изменяя зеркало сцены, можно изменить акустическую связь сценической коробки и зрительного зала и тем самым подобрать оптимальные условия для записи.

В заключение следует сказать, что выше были рассмотрены самые основные вопросы выбора помещения и его акустической обработки для проведения записи. Окончательное суждение о его пригодности можно вынести только лишь при прослушивании пробных записей, сделанных в этом помещении.

4. Выбор микрофонов

В зависимости от вида записи и реальных акустических особенностей помещения, в котором она проводится, выбирается определенный тип микрофона с соответствующими характеристиками. Не останавливаясь на устройстве и принципе действия различных типов микрофонов, с которыми можно познакомиться в популярной научно-технической литературе, рассмотрим только их основные характеристики, определяющие выбор микрофона для различных случаев записи.

Микрофоны по принципу преобразования звуковой энергии в электрическую разделяются на следующие основные типы: индукционные с подвижной катушкой (динамические) или с подвижной

лентой (ленточные), конденсаторные, пьезоэлектрические. Для высококачественой записи музыки пьезоэлектрические микрофоны, как правило, не используются из-за сравнительно низкого их качества.

По физическим признакам микрофоны делятся на приемники звукового давления, реагирующие на изменение звукового давления, действующего на диафрагму; приемники градиента давления, реагирующие на разность звуковых давлений, действующих на обе стороны диафрагмы, и приемники комбинированного типа, сочетающие свойства приемников звукового давления и градиента давления.

Различие по воздействию звуковых колебаний на подвижную систему микрофона определяет и различные виды характеристик направленности их действия. Характеристика направленности, т. е. зависимость чувствительности микрофона на данной частоте от угла между акустической осью и направлением на источник звука (изображается обычно графически в полярных координатах), является одним из важнейших показателей при выборе микрофона для звукозаписи. По характеристикам направленности микрофоны принято разделять на три группы: ненаправленные, двусторонненаправленные и односторонненаправленные.

Микрофон ненаправленного действия обладает постоянной чувствительностью независимо от направления, по которому приходят звуковые волны, воздействующие на его диафрагму. Характеристика направленности такого микрофона в полярной системе координат представляет собой правильную окружность. Рабочее пространство ненаправленного микрофона — сфера. Но надо отметить, что характеристика направленности микрофона действительно представляет собой правильную окружность только лишь на низких частотах. С повышением частоты, когда длина волны становится соизмеримой с габаритами микрофона, начинает сказываться экранирующее действие его корпуса. Вследствие этого, начиная примерно с частоты 1000—2000 Гц, появляется заметная направленность, а на частотах 10—15 кГц она становится столь значительной, что о ненаправленности микрофона говорить уже нельзя. Поэтому практически угол охвата такого микрофона с учетом диаграммы направленности для высоких частот (от 5000 Гц и выше) принимается равным 90°. Рабочее пространство микрофона представляет собой телесный угол, т. е. пространство, ограниченное конусом, вершина которого лежит на чувствительном элементе микрофона (рис. 6, *а*).

Двусторонненаправленные микрофоны имеют одинаковую чувствительность с фронтальной и тыльной сторон диафрагмы, чувствительность их в поперечном направлении равна нулю. Характеристика направленности таких микрофонов в полярной системе координат имеет форму восьмерки, причем как для низких частот, так и для высоких характерная форма восьмерки сохраняется. Угол, перекрываемый диаграммой направленности микрофона, равен 90° для каждой его стороны (рис. 6, *б*).

Односторонненаправленные микрофоны практически чувствительны только к звуковым волнам, приходящим с фронтальной стороны диафрагмы. Характеристика направленности этих микрофонов по форме близка к кардиоиде, причем она остается почти неизменной в широкой полосе частот. Угол, охватываемый диаграммой направленности микрофона, достигает 120° (рис. 6,*в*).

Для проведения речевых записей в помещениях с большим уровнем шумов применяются остронаправленные микрофоны с характеристикой суперкардиоида и гиперкардиоида (рис. 6, *г*).

Другим важным качественным показателем микрофона является его частотная характеристика — зависимость чувствительности микрофона от частоты в рабочем диапазоне частот. Техническими условиями устанавливается допуск на неравномерность частотной характеристики. Последняя оказывает существенное влияние на качество записи.

Необходимо еще учитывать чувствительность микрофона, которая определяется как отношение величины напряжения, развива-

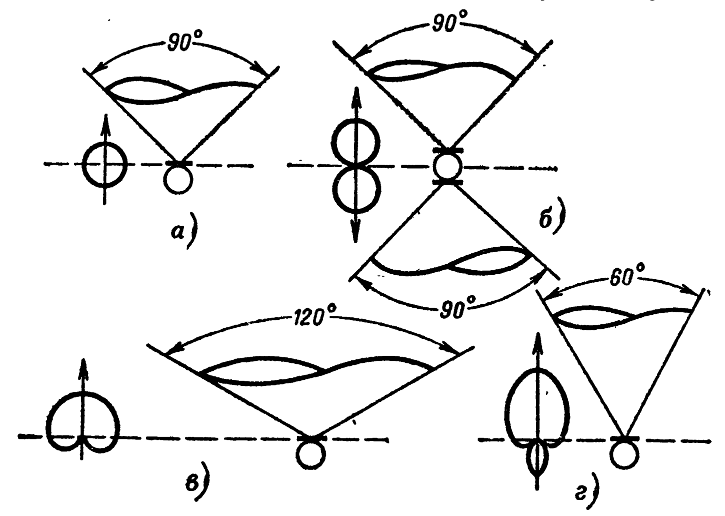


Рис. 6. Основные виды характеристик направленности микрофонов.

а — ненаправленная (круговая); *б* — двусторонненаправленная (восьмерка); *в* — односторонненаправленная (кардиоида); *г* — остронаправленная (гиперкардиоида).

емого микрофоном на номинальном сопротивлении нагрузки, к величине звукового давления, воздействующего на диафрагму микрофона. Наиболее часто за меру чувствительности микрофонов принимается стандартный уровень чувствительности, выражающийся (в децибелах) отношением уровня мощности, выделяемой микрофоном на номинальной нагрузке при действующем звуковом давлении 0,1 Н/м^2, к условно принятому нулевому уровню электрической мощности в 1 мВт.

Для определения стандартного уровня чувствительности микрофонов на рис. 7 представлен график с разными значениями сопротивлений нагрузки. Зная величину стандартного уровня чувствительности, можно сравнивать качество микрофонов, имеющих различные внутренние сопротивления.

Чем выше чувствительность микрофона, тем больший динамический диапазон он может передать. Однако следует заметить, что при записи нередко предпочтение отдается микрофонам с пониженной чувствительностью, чтобы более четко выделить звучание отдельного инструмента, певца или группы музыкальных инструментов.

В звукозаписи применяют довольно много различных типов микрофонов. Характеристики наиболее широко распространенных микрофонов приведены в табл. 2.

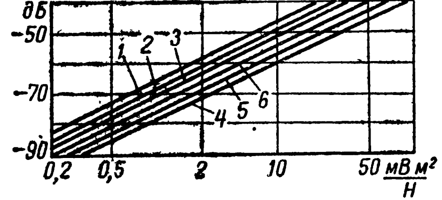


Рис. 7. График для определения стандартного уровня чувствительности микрофонов при различных сопротивлениях нагрузки.

1 — при 50 Ом; 2 — при 100 Ом; 3 — при 200 Ом; 4 — при 250 Ом; 5 — при 600 Ом; 6 — при 1000 Ом.

Таблица 2

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Стандартный уровень осевой чувствительности, дБ	Средняя разность чувствительности между фронтом и тылом, дБ	Вид преобразований	Вид характеристики направленности
МД-38	50—15 000	8	—78	—	Д	НН
МД-44	100—8000	12	—78	10	Д	ОН
МД-55	60—8000	12	—72	—	Д	НН
МДО-1	150—8000	15	—78	15	Д	ООН
МД-59	50—15 000	8	—78	—	Д	НН
82А-5М	50—10 000	10	—69	9—18	Д	ОН
МЛ-11	70—10 000	12	—75	12	Л	ОН
МЛ-15	50—10 000	5	—76	—	Л	ДН
МЛ-16	50—15 000	10	—78	—	Л	ДН
МЛ-17	70—10 000	12	—76	12	Л	ОН
19А3	40—12 000	5	—55	20	К	ОН
19А9	40—15 000	10	—66	10	К	ОН

Примечание. Д — динамический; Л — ленточный; К — конденсаторный; НН — ненаправленная круговая; ОН — односторонненаправленная (кардиоида); ДН — двусторонненаправленная (восьмерка); ООН — односторонняя остронаправленная.

При выборе микрофонов необходимо учитывать всю совокупность их технических характеристик и технологических требований, обусловленных условиями записи. Дать какие-либо определенные рекомендации по выбору микрофонов без учета конкретных условий записи затруднительно. Тем не менее можно указать общие правила, которыми следует руководствоваться при выборе того или иного микрофона.

Односторонненаправленный микрофон с характеристикой «кардиоида» желательно применять при записи, проводимой в помещении с большим количеством звуковых отражений. Реверберация, воспринимаемая таким микрофоном, будет казаться меньше действительной. Применяют его и в том случае, когда в помещение, где проводят запись, проникают шумы из соседних помещений, что в любительских условиях часто имеет место. Установка микрофона тыльной стороной к источнику звуковых помех уменьшает влияние шума (уровень шума, воспринимаемый односторонненаправленным микрофоном с тыла, ослабляется примерно на 15—20 дБ и более). Такой микрофон используют и при широком фронте размещения исполнителей (при записи больших составов), учитывая при этом угол, охватываемый диаграммой направленности, без заметного ослабления по всему частотному диапазону. Этот тип микрофона применяют и при записи несколькими микрофонами (для четкого разделения определенных групп исполнителей), а также при размещении исполнителя близко к микрофону (запись крупным планом), чтобы снизить низкочастотные искажения, возникающие в этом случае, в двусторонненаправленном и ненаправленном микрофонах.

Двусторонненаправленный микрофон с характеристикой «восьмерка» следует применять при записи в заглушенном помещении, когда желательно увеличение реверберации, а также при записи отдельных музыкальных инструментов (в частности, струнных) и певцов, когда специально хотят выделить низкие частоты при близком размещении исполнителей у микрофона. Применяют его и при записях диалога между двумя исполнителями или певца и аккомпанемента, а также при записи малых музыкальных составов (например, камерный струнный квартет). Использование такого микрофона в этом случае позволяет удобно разместить исполнителей. Используют его и в том случае, когда необходимо отстроиться от направленных источников шума. При этом микрофон ориентируют зоной нулевой чувствительности к источнику шума (перпендикулярно направлению на источник шума). Двусторонненаправленный микрофон желательно применять и в том случае, когда потолок и пол помещения являются поверхностями, хорошо отражающими звуковые волны. Такой микрофон, расположенный на стойке, мало подвержен воздействию отраженных звуковых волн, приходящих от потолка и пола, а также от двух боковых стен. Поэтому достаточно акустически обработать только две стены — за исполнителями и напротив них.

Ненаправленный микрофон с характеристикой в форме круга можно применять при записи различных встреч и бесед за «круглым столом», а также при записи речи, пения, музыки в сильно заглушенном помещении. Такой тип микрофона используют и для передачи общей акустической обстановки помещения при записи несколькими микрофонами. В этом случае микрофон устанавливают в центре помещения (или зрительного зала). Ненаправленный микрофон используют также в том случае, когда размеры помещения не позволяют получить естественный и отдаленные звуковые планы при использовании односторонненаправленного микрофона. Установлено, что для получения одного и того же звукового плана односторонненаправленный микрофон нужно располагать на расстоянии, приблизительно в 1,7 раза большем, чем ненаправленный микрофон той же чувствительности.

Перечисленные здесь рекомендации далеко не исчерпывают всех возможных случаев, но дают некоторое представление о многообразии различных факторов, влияющих на выбор конкретного типа микрофона. Поэтому в каждом отдельном случае следует выбирать микрофон опытным путем, не доверяя полностью различным правилам и рекомендациям. Со временем приобретенный опыт и развитое чувство интуиции позволят достаточно свободно ориентироваться в правильном выборе того или иного микрофона.

5. Размещение и подготовка микрофонов к записи

При определении места установки микрофона и размещения исполнителей в первую очередь желательно установить микрофон. Его важно поместить в акустической обстановке, соответствующей содержанию исполняемого произведения, а затем определить положение источника звука относительно микрофона. В общем случае при

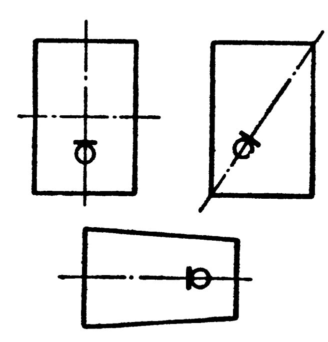


Рис. 8. Основные линии размещения микрофонов в помещении при записи.

Рис. 9. Взаимное расположение микрофона и источника звука.

размещении микрофона в помещении надо учитывать симметричность звукового поля, пользуясь главным образом осями симметрии, а иногда диагоналями помещения (рис. 8).

Если помещение имеет поверхности, фокусирующие звук, то микрофон следует сдвинуть на несколько метров в сторону от оси симметрии. Для того чтобы избежать нежелательного воздействия поглощающих и отражающих поверхностей, необходимо по мере возможности акустически подготовить эти поверхности в зоне действия микрофона, учитывая при этом его характеристику направленности.

В общем случае взаимное расположение микрофона *М* и источника звука *ИЗ* (рис. 9) определяется тремя параметрами: углом α между прямой, соединяющей микрофон с источником звука, и осью направленности микрофона (исходя из характеристики направленности данного типа микрофона); характеристикой направленности звучания источника звука (имеется в виду угол β между образованной прямой от источника звука до микрофона и осью направлен-

ности излучения самого источника); расстоянием l между источником звука и микрофоном. Все музыкальные инструменты по характеристикам направленности можно условно подразделить на три группы: инструменты, обладающие четко выраженной направленностью излучения (медные духовые), инструменты, не обладающие направленным излучением звука (ударные), и инструменты, занимающие промежуточное положение между этими двумя группами. Последняя группа составляет большинство музыкальных инструментов (обычно они характеризуются более или менее четкой зоной излучения). С увеличением расстояния l между источником звука и микрофоном высокие частоты ослабляются больше, чем низкие, поэтому микрофон следует ориентировать на источник звука высоких частот (если имеется явно выраженная зона их излучения).

Параметры α, β и l определяют уровни звуковых сигналов, приходящих к микрофону: тембры источников звука, соотношение между уровнем полезного сигнала и мешающим влиянием окружающей среды, а также звуковой план. Так, например, при повороте микрофона относительно источника звука (увеличение угла α) происходит изменение уровня записи вследствие различной чувствительности микрофона к звуковым волнам, приходящим с разных направлений. То же самое наблюдается при повороте источника звука относительно микрофона (увеличение угла β), из-за изменения энергии прямого звука, попадающего в микрофон. Одновременно с этим происходит изменение соотношений прямого и отраженного (диффузного) звука, что приводит к изменению звукового плана записываемой картины.

Поворот микрофона относительно источника звука или источника относительно микрофона приводит также и к завалу высших частот, а значит, к изменению тембра звучания. Чем выше частота излучения источника, тем заметнее частотные искажения при неправильной ориентации микрофона. В заглушенном помещении, а также при малых расстояниях между микрофоном и источником звука частотные искажения сказываются особенно сильно. Это объясняется тем, что при данных условиях основную роль играет прямой звук, энергия которого при изменении угла α или угла β резко меняется. При больших расстояниях и в сравнительно гулком помещении возрастает доля отраженных звуковых волн, попадающих в микрофон, и потому частотные искажения менее заметны.

Уместно отметить, что характеристика направленности ленточного микрофона почти не зависит от частоты и поэтому при изменении угла α частотные искажения практически неощутимы. Однако при повороте источника звука, т. е. при увеличении угла β, происходит завал высших частот. Кроме того, из-за конструктивных особенностей такого микрофона при близком размещении его у источника звука происходит непропорциональный подъем нижних частот, искажающий тембр звучания.

Число микрофонов, нужных в том или ином случае, определяется непосредственно при работе над выбором звукового плана с учетом характера записываемого произведения, а также акустических свойств помещения, в котором должна проводиться запись. Если в процессе записи необходимо применить несколько микрофонов, то может случиться, что сигналы на выходах отдельных микрофонных усилителей при включении их в один общий канал записи окажутся не в фазе и тогда результирующее напряжение на выходе пульта теоретически может быть равным нулю. Поэтому перед

началом записи необходимо провести репетицию и проверить фазировку всех микрофонов.

При установке микрофона следует помнить, что отражения звука от близко расположенных жестких преград (стена, пол, пюпитр, стол и пр.) могут привести к появлению искажений в записи из-за интерференции прямых и отраженных звуковых волн (рис. 10). Опытным путем установлено, что расстояние, на которое можно приближать микрофон к отражающим поверхностям без заметного искажения тембра, должно быть не меньше 1—1,5 м.

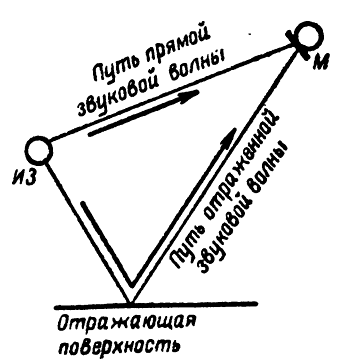


Рис. 10. Интерференция звуковых волн при микрофонной записи.

Подготавливая микрофон к работе, надо очень внимательно относиться к таким простым операциям, как присоединение микрофонных и других кабелей к различным элементам тракта звукозаписи. Как показывает практика, небрежное отношение к этим операциям, а также к самому микрофонному кабелю и его разъемам часто приводит к ухудшению качества записи (помехи, треск и т. п.) и к потере времени на нахождение и устранение различных неполадок. Присоединять и отсоединять кабель нужно, берясь за разъем, а не за сам кабель. Не следует класть кабель там, где по нему могут ходить или случайно его задеть. При необходимости делают переход через кабель или подвешивают его. Вблизи разъемов нужно всегда оставлять свободную петлю, чтобы в этих местах кабель не был натянут. Надо следить и за тем, чтобы кабель не был защемлен дверью, окном и пр.

Ни в коем случае нельзя подвешивать микрофон за кабель. Для защиты от механических вибраций желательно микрофон укреплять в петле подвески посредством резиновых колец или при помощи эластичных пружин. Класть микрофонные кабели рядом с сильноточными проводами недопустимо из-за возможных электрических наводок. В разъемах необходимо содержать чистыми как внутренние контакты, так и внешние, а для этого их нужно периодически осматривать и чистить. Микрофонные стойки должны иметь хорошую устойчивость, особенно при высоко расположенном микрофоне. Желательно, чтобы рядом со стойкой было несколько свободно лежащих витков кабеля, тогда если кабель случайно заденут, то это позволит избежать падения микрофона. Необходимо также предупреждать исполнителей, чтобы во время записи они не трогали микрофонный кабель.

6. Звуковые планы и звуковая перспектива при записи

На микрофон, установленный в той или иной точке помещения, от источника звука обычно воздействуют энергия прямого звука $E_{пр}$ (эта энергия уменьшается пропорционально квадрату расстоя-

ния от источника) и энергия диффузного (рассеянного) звука $E_{отр}$ (как результат большого числа отражений звуковых волн от поверхностей и предметов, находящихся в помещении). Таким образом, общая звуковая энергия, воздействующая на микрофон, $E=E_{пр}+E_{отр}$. Вблизи от источника звука микрофон воспринимает главным образом прямой звук. На больших расстояниях преобладает воздействие отраженных звуков. Между областью с решающей ролью прямого звука и областью, где начинается преобладание отраженного звука, лежит пространство, в котором обе составляющие звукового поля сравнимы между собой.

Наш слух различает обе составляющие звукового поля и определенным образом воспринимает соотношение между ними. Соотношение между прямым и отраженным звуками в какой-либо точке студии называется акустическим отношением (акустическим балансом) и выражается формулой

$$A=\frac{E_{отр}}{E_{пр}}.$$

Человек, слушающий исполнителя непосредственно на концерте, благодаря бинауральному восприятию звука может определить направление прямых звуковых волн, сосредоточить свое внимание на их приеме и как бы отстроиться от восприятия отраженных волн. При прослушивании же фонограммы слушатель лишен подобной слуховой избирательности, так как микрофон «слышит» как бы одним «ухом» и принятая им сумма прямых и отраженных звуков воспроизводится только из одной точки — громкоговорителя. Поэтому естественность звучания, тембр и впечатление о реверберации помещения в значительной мере зависят от величины акустического отношения в точке размещения микрофона.

Действительно, при нахождении микрофона на близком расстоянии от исполнителя, когда акустическое отношение мало ($A<1$), т. е. когда преобладает прямой звук, а действие отраженных волн ничтожно, реверберация на слух кажется значительно меньшей, чем на самом деле (даже в гулком большом помещении). Этим приемом удается создать четкое «сухое» звучание, соответствующее, как говорят, крупному звуковому плану.

Располагая микрофон на значительном расстоянии от исполнителей, можно попасть в зону, где влияние отраженных звуков (диффузного поля) значительно больше, чем прямых ($A>1$). Тембр звучания в этом случае изменится, звучание будет более гулким, размытым и субъективное ощущение реверберации значительно увеличится. Этим приемом пользуются, например, в заглушенных помещениях, ставя один из микрофонов далеко от исполнителей для придания звучанию пространственности («воздушности»).

Таким образом, в то время как стандартная реверберация студии практически неизменна, выбирая место микрофона относительно исполнителя, можно изменять акустическое отношение и, следовательно, зависящее от него субъективное ощущение реверберации (эффективная реверберация). Умело используя явление эффективной реверберации, располагая микрофон на различных расстояниях от источников звука, можно получать различные звуковые планы. Эффект различных звуковых планов определяется также в зависимости от изменения силы звука и тембра звучания. Так, если громкость звука постепенно ослабевает, то создается впечатление удаления ис-

точника звука от слушателя, и, наоборот, звук, громкость которого нарастает, кажется приближающимся к слушателю.

Вместе с тем наш слух хорошо отличает близкие звуки малой громкости от мощных, но весьма удаленных. Объясняется это тем, что при распространении звука высокие частоты (короткие звуковые волны) затухают значительно скорее, чем низкие (длинные звуковые волны). Так, например, звуки грома, оглушительные и резкие вблизи, воспринимаются на расстоянии как глухие и неясные раскаты.

Таким образом, с изменением расстояния от источника звука до слушателя меняется тембр звучания. Техника получения различных звуковых планов составляет основу работы звукорежиссера при записи и обеспечивает художественную выразительность записываемого произведения. Подобно тому, как в кино, в зависимости от большего или меньшего приближения объекта съемки к камере, создается различный зрительный план (крупный, средний и дальний), так и при звукозаписи различают три основных звуковых плана: крупный, средний (естественный) и удаленный (общий).

Крупный план. Если источник звука при записи разместить близко от микрофона, то этот источник при прослушивании будет казаться больших размеров и создается впечатление, что он как бы находится перед громкоговорителем. В этом случае прямые звуки от источника, идущие в микрофон, преобладают над отраженными ($A \ll 1$).

Голос исполнителя в крупном плане кажется близким и подчеркнуто интимным. Создается впечатление, что человек говорит на ухо, причем в звучании голоса выявляются малейшие его оттенки. Любая артикуляция исполнителя принимает ярко индивидуальный характер, а паузы и модуляции голоса акцентируются.

Однако размещение источника звука в непосредственной близости от микрофона может вызвать искажение звучания. Пение певцов с сильными голосами в крупном плане производит впечатление сдавленности. Для того чтобы производить запись певцов или музыкантов в таких условиях, от них требуется особая техника исполнения.

Средний план. С увеличением расстояния между микрофоном и источником звука энергия прямых звуков, воспринимаемых микрофоном, будет убывать, а энергия отраженных звуков увеличиваться, иначе говоря, будет увеличиваться акустическое отношение и тогда постепенно начнет вырисовываться акустическая обстановка студии. При определенном соотношении прямых и отраженных звуковых волн (приблизительном равенстве тех и других) будет достигнут средний план ($A \approx 1$).

Средний план соответствует такому размещению микрофона относительно источника звука, при котором впечатление при прослушивании речи или музыкальной программы совпадает с естественными условиями слушания. Так, например, при разговоре собеседники находятся обычно на расстоянии от 1 до 3 м, а наилучшее прослушивание концертной программы обычно наблюдается в середине зала.

В процессе записи следует размещать исполнителя именно в среднем звуковом плане, если только не ставится задача получить какие-либо специальные звуковые эффекты. Для каждого источника звука (например, музыкального инструмента) расстояние до микрофона, дающее средний звуковой план, зависит от реверберации помещения, в котором проводится запись, от характера звучания самого

источника, а также от типа применяемого микрофона. Перемещая микрофон относительно источника звука (или наоборот), сравнивают звучание при контрольном прослушивании с натуральным, т. е. непосредственно в зале, где производится запись, до тех пор, пока не достигнут естественного звучания записи.

Удаленный план. При дальнейшем увеличении расстояния между микрофоном и источником звука растет акустическое отношение, т. е. все больше и больше оказывают влияние на запись отраженные звуки ($A \gg 1$). У слушателя создается ощущение большего расширения звукого пространства, чем на самом деле. Удаленные планы применяются для создания впечатления большого объема и глубокой звуковой перспективы. При этом слушатель слышит весь ансамбль слитно, его внимание не перегружается отдельными деталями в звучании музыкальных инструментов и произведение воспринимается им как единое целое.

Все рассмотренные нами случаи взаимного расположения микрофона и источника звука сведены в табл. 3.

Таблица 3

План звучания	Акустическое отношение	Кажущаяся величина источника звука	Кажущиеся размеры окружающего пространства	Производимый эффект
Крупный	Стремится к нулю	Больше действительной	Минимальные	Впечатление интимности, ограниченности пространства
Средний (естественный)	Близко к единице	Нормального размера	Соответствующие натуре	—
Удаленный (общий)	Стремится к бесконечности	Меньше действительной	Максимальные	Впечатление объема, массовости, силы и мощи

Выбрать расстояние l (в метрах) между микрофоном и источником звука для получения того или иного звукового плана с учетом объема помещения V (в кубических метрах) и стандартного времени реверберации T (в секундах) этого помещения можно по эмпирической формуле

$$l = \sqrt{\frac{KV}{300\,T^2}},$$

где K — коэффициент эффекта объемности звука, составляющий 10—25 для симфонического оркестра, 3—12 для малого оркестра, 4—15 для рояля соло, 1,2—6 для скрипки и виолончели, 0,5—2,4 для пения соло и 0,2—0,8 для речи. Меньшие численные значения K соответствуют крупному звуковому плану, а большие — удаленному. Так, например, если запись небольшого музыкального ансамбля проводится в помещении объемом 200 м^3 с реверберацией 1 с и при этом необходимо получить крупный звуковой план, то, выбирая

коэффициент K-3, определяем, что микрофон следует разместить от исполнителей на расстоянии 1,5 м.

Представление о расстояниях до источников звука, размещенных в разных звуковых планах, воспринимается через микрофон как звуковая перспектива, т. е. многоплановость (какие-то инструменты звучат на переднем плане, какие-то глубже, дальше и наконец совсем далеко). Звуковая перспектива в глубину должна особенно чувствоваться при записи крупных исполнительских коллективов, занимающих большое пространство в помещении. Это в первую очередь произведения для солиста с оркестром, сочинения для симфонического, народного, духового оркестров.

Рассмотрим звуковую перспективу на примере рассадки симфонического оркестра. Слушая его в концертном зале, можно совершенно ясно ощутить многоплановость звучания. Расположенная ближе к слушателю струнная группа звучит соответственно в более крупном звуковом плане, чем сидящая за ней группа деревянных духовых, за которой следуют медные и ударные инструменты, звучащие по мере отдаления от слушателя все глубже, отдаленнее.

Придерживаясь такой рассадки симфонического оркестра при записи, необходимо передать планы звучания, соответствующие расположению каждой группы оркестра, сохраняя естественную перспективу звучания. Другими словами, для правильной передачи звуковой перспективы необходимо найти для каждой группы инструментов естественный баланс прямых и отраженных звуковых волн, чтобы картина была многоплановой, а не плоской.

Однако звуковые планы следует подбирать такими, чтобы не создалось впечатление, что различные исполнители одного и того же ансамбля находятся в разных помещениях и поэтому звучат с различной акустической окраской. Такая многопространственность звучания, если только она не соответствует специальному замыслу (например, при записи эстрадных музыкальных номеров с применением ранее задуманных эффектов), вряд ли может быть признана допустимой. Следует научиться различать эти два субъективных параметра оценки качества звучания — многоплановость и многопространственность и, стремясь к достижению первого, не допускать второго.

Для приобретения навыков получения правильной звуковой перспективы на первых порах целесообразно научиться слышать и анализировать звуковую перспективу по записям музыкальных произведений на грампластинках и профессионально записанных магнитных фонограммах.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЗАПИСЬ РЕЧИ И МУЗЫКИ

7. Запись речи

В процессе речи голос человека меняет свою высоту, он может звучать громче и тише, кроме того, голос каждого человека отличается особым, присущим только ему качеством — тембром.

Высота голоса зависит от частоты колебаний голосовых связок. Частотный диапазон мужского голоса располагается в пределах

большой и малой октав (85—200 Гц), а женского — в малой и первой октавах (160—340 Гц). Художественная речь по частотному диапазону значительно шире, чем бытовая, ее диапазон в некоторых случаях доходит до двух октав (соответственно 85—340 и 160—550 Гц). Однако чтобы передать характерные особенности тембра, необходимо записывать и воспроизводить частотный диапазон значительно шире — в пределах 80—8000 Гц. При таком частотном диапазоне сохраняются хорошая разборчивость и естественность звучания голоса.

Диапазон изменения громкости речи при художественном чтении составляет 40—50 дБ. Динамический диапазон речи диктора значительно уже (15—20 дБ).

Разборчивость, внятность речи зависит не только от технических условий записи, но и от дикции исполнителя. Речь становится невнятной, если исполнитель не обладает хорошей дикцией.

Перед микрофоном исполнитель не должен форсировать голос без особой необходимости. Громкость речи должна зависеть от того эффекта, который желательно получить по смыслу записи. Во всех случаях рекомендуется избегать чрезмерного снижения громкости, так как при этом изменяется тембр голоса и при воспроизведении он будет казаться неестественно низким и тяжелым. Кроме того, при малой громкости в фонограмме могут прослушиваться посторонние шумы. Поэтому во время записи для получения нужных нюансов следует рекомендовать исполнителю пользоваться главным образом оттенками голоса, а не изменением его громкости.

Существует несколько общих правил размещения исполнителя перед микрофоном, которыми можно воспользоваться, с учетом, разумеется, конкретных задач и условий записи.

При записи одного исполнителя обычно используют микрофон с односторонней направленностью. Такой микрофон размещают на расстоянии 50—70 см от исполнителя. В зависимости от положения исполнителя микрофон устанавливают на столе или на высокой стойке так, чтобы он был на уровне лица исполнителя.

При более близком размещении исполнителя у микрофона (крупный и очень крупный план), как уже указывалось, выявляются малейшие оттенки голоса, подчеркиваются все нюансы и дефекты речи, начинают прослушиваться шум дыхания и шипение глухих согласных. К тому же микрофон, имеющий характеристику направленности в виде «восьмерки», при близком размещении у исполнителя сильно подчеркивает низкие частоты, в результате чего искажается тембр голоса и запись приобретает «бубнящий» оттенок. Поэтому микрофон этого типа рекомендуется размещать не ближе чем на 80—100 см от исполнителя. Указанные дефекты можно сделать менее заметными, если исполнитель слегка повернет голову в сторону от оси максимальной чувствительности микрофона. однако при этом может измениться и звуковой план.

Если необходимо получить эффект разговора шепотом, то в этом случае при записи звук получается не совсем естественным, а шипящие звуки оказываются особо подчеркнутыми. При записи шепота исполнитель должен располагаться на расстоянии 10—15 см от микрофона, а сам микрофон должен быть повернут к лицу исполнителя так, чтобы поток воздуха от дыхания не попадал непосредственно на диафрагму.

Обычным дефектом при записи речи является резкое подчеркивание свистящих и шипящих согласных — с, х, т, ц, щ и др. Для

устранения этого дефекта следует поворачивать микрофон по отношению к исполнителю под разными углами до тех пор, пока эта особенность речи не перестанет быть достаточно заметной. Возможно, что придется просить исполнителя говорить более мягко и плавно.

Если голос при записи получается приглушенным и недостаточно чистым, то можно попробовать установить микрофон непосредственно перед выступающим или использовать частотную коррекцию, «заваливая» низкие и «подымая» высокие частоты. Однако следует отметить, что для передачи натурального тембра (особенно мужского голоса) требуется передать все низкие частоты, а это нередко ведет

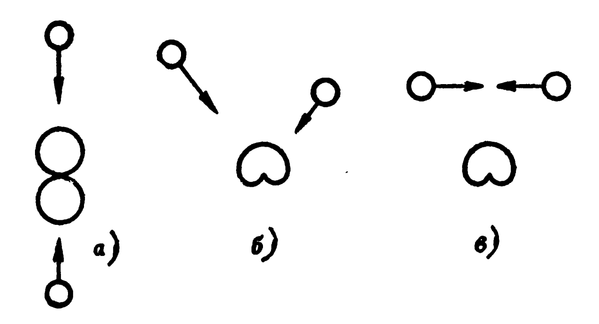


Рис. 11. Размещение исполнителей при записи речи.

а — двусторонненаправленным микрофоном; *б* — односторонненаправленным микрофоном при различной силе голосов исполнителей; *в* — односторонненаправленным микрофоном.

к снижению четкости речи. В этом случае с помощью частотной коррекции необходимо найти компромисс между получением хорошей разборчивости и сохранением тембра.

Для записи диалога наиболее удобен микрофон с характеристикой направленности в виде «восьмерки». Исполнители располагаются по обе стороны от микрофона по оси его максимальной чувствительности, причем относительное расстояние каждого говорящего от микрофона должно быть обратно пропорционально силе его голоса (рис. 11, *а*).

При записи диалога односторонненаправленным микрофоном исполнителей следует разместить напротив друг друга в зоне угла, перекрываемого диаграммой направленности. Если голоса исполнителей сильно различаются по громкости, то микрофон следует развернуть так, чтобы исполнитель, имеющий более сильный голос, оказался на периферии угла охвата диаграммой направленности (рис. 11, *б*). При этом следует учесть, что если помещение обладает сравнительно большой реверберацией, то такое размещение может привести к разноплановости в звучании голосов. В этом случае следует попробовать поместить говорящих лицом к лицу достаточно близко от микрофона (рис. 11, *в*).

Чтобы быстро и четко провести запись и облегчить исполнителю работу над текстом, последний, даже если он состоит из нескольких фраз, рекомендуется напечатать на машинке. Печатать текст нужно с абзацами, заключая в каждый из них законченную мысль. Желательно, чтобы фразы были возможно короткими и простыми по конструкции.

После репетиционной работы исполнителя у микрофона, при которой звукорежиссер устанавливает соответствующий уровень записи и частотную коррекцию, начинают запись первого варианта. Во время записи звукорежиссер отмечает в тексте все замеченные дефекты (интонационные или дикционные недостатки, наличие искажений, шумов и случайных помех).

Следует порекомендовать исполнителю в случае оговорки не терять самообладания и не прекращать запись. Лучше сделать паузу в 2—3 с и произнести все предыдущее предложение сначала. Впоследствии предложение, содержащее ошибку, легко вырезать, благодаря наличию паузы, следующей за оговоркой. Попытка заменить только одно неправильно произнесенное слово не всегда удается из-за того, что зачастую бывает трудно найти границу между этим словом и последним слогом предыдущего слова (особенно при малых скоростях записи). Кроме того, звучание отдельно повторенного слова может не совпадать со звучанием предыдущих слов, в результате чего место монтажа будет заметно на слух. Нецелесообразно в случае оговорки перематывать ленту назад и начинать запись точно с «искаженного» места. Помимо того что такая точность трудно достижима, неизбежно еще появление щелчка в записи. Если текст читается, то нужно следить, чтобы бумаги не заслоняли микрофон от чтеца и не прослушивалось шуршание.

Сделанную запись прослушивают совместно с исполнителем и при необходимости записывают второй и, если нужно, третий вариант. Отдельные, трудно исполняемые фразы, имеющие художественную значимость, записывают отдельно.

Чтобы обеспечить в пределах записываемой части текста нужный интонационный строй речи и тем самым скрыть, что запись произведена по частям, используют следующий прием. Запись начинают вести не с начала нужной фразы, а за две-три фразы до нее и заканчивают запись на одну-две фразы позже. Затем необходимую часть текста вырезают и монтируют в отобранный вариант взамен неудачной.

Манера поведения исполнителя у микрофона также отражается на записи. Например, нельзя правдиво выразить в словах и интонациях торжественное и праздничное настроение, заключенное в тексте, если читать его, облокотясь на стол, расслабив мышцы и подперев голову руками. У микрофона исполнитель должен держаться свободно, но быть внутренне собранным и сосредоточенным.

Нередко возникает необходимость записать выступления ораторов на различных собраниях, митингах, конференциях, торжественных и юбилейных собраниях, вечерах. Для этого на трибуне устанавливают односторонненаправленный микрофон (желательно с большим перепадом чувствительности между «фронтом» и «тылом») так, чтобы максимально уменьшить влияние шума зала. При ответственных выступлениях необходимо устанавливать на трибуне несколько микрофонов. Общий сигнал с выхода микшерского пульта подается на магнитофон. Это позволит даже при значительных перемещениях выступающего относительно центра трибуны записать речь доста-

точно четко, а в случае неисправности одного из микрофонов можно будет продолжать запись с остальных.

При монтаже важных выступлений производится кропотливая работа по улучшению звучания записанной речи. Так, например, заикание удается полностью устранить путем исключения повторных слогов и сдвига пауз. Излишнее повторение слов или оговорки можно также вырезать из фонограммы. Иногда можно даже вставить в запись ошибочно пропущенные слова, без наличия которых фраза лишается смысла. Эти пропущенные слова находят в другом месте текста, копируют и вставляют в нужное место. Следует помнить, что такой монтаж удобнее выполнять при скорости фонограммы 38,1 см/с.

8. Музыкальные инструменты перед микрофоном

Приступая к музыкальным записям, необходимо знать индивидуальные особенности звучания отдельных музыкальных инструментов, а также специфику их применения в различных музыкальных ансамблях и оркестрах. Это поможет правильно выбрать тип микрофона, определить наилучшее местоположение музыкального инструмента относительно микрофона, отражающих поверхностей помещения и других инструментов.

Одна из важнейших характеристик любого музыкального инструмента — частотный диапазон звучания. Диапазоны звучания основных музыкальных инструментов приведены на рис. 12. Сверху под частотной шкалой (в логарифмическом масштабе) показана клавиатура фортепиано, а ниже широкими полосами представлены диапазоны основных частот различных музыкальных инструментов. Клавиатура фортепиано начинается со звука «ля» субконтроктавы (27,5 Гц), а кончается звуком «до» пятой октавы (4186 Гц). Клавиши, помеченные буквой С, соответствуют звуку «до» (с него начинается каждая октава). Кроме основных частот каждый инструмент характеризуется дополнительными высокочастотными составляющими — обертонами (или, как принято говорить в электроакустике,— высшими гармониками), определяющими его специфический тембр. Частотные диапазоны обертонов показаны на рисунке заштрихованными полосами.

Большинство инструментов характеризуется усилением основных частот, а также и отдельных обертонов в определенных (одной или нескольких) относительно узких полосах частот (формантах), различных для каждого инструмента. Резонансные частоты (в герцах) формантной области составляют 100—200 для трубы, 200—400 для валторны, 300—900 для тромбона, 800—1750 для трубы, 350—900 для саксофона, 800—1500 для гобоя, 300—900 для фагота, 250—600 для кларнета.

Другое характерное свойство музыкальных инструментов — сила их звука обусловливается большей или меньшей амплитудой (размахом) их звучащего тела или воздушного столба (большей амплитуде соответствует более сильное звучание и наоборот). Значение пиковых мощностей (в ваттах) составляет 70 для большого оркестра, 25 для большого барабана, 20 для литавр, 12 для малого барабана, 6 для тромбона, 0,4 для фортепиано, 0,3 для тубы и саксофона, 0,2 для трубы, 0,16 для контрабаса, 0,08 для малой флейты, 0,05 для кларнета, валторны и треугольника.

30 50 100 200 440 1000 2000 3000 9000 16000 Гц

$C_к$ $C_б$ $C_м$ C_1 C_2 C_3 C_4 C_5

Флейта пикколо
Флейта
Гобой
Кларнет
Труба
Валторна
Тромбон
Фагот
Туба
Скрипка
Альт
Виолончель
Контрабас
Аккордеон
Электроорган
Гитара
Тарелки
Литавры
Ксилофон

Рис. 12. Частотные диапазоны музыкальных инструментов.

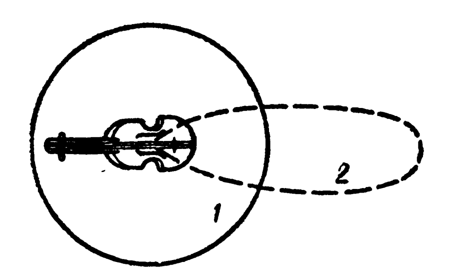


Рис. 13. Характеристика звукового излучения скрипки.

1 — низкие частоты; *2* — высокие частоты.

Отношение мощности звука, извлекаемого из инструмента при исполнении «фортиссимо», к мощности звука при исполнении «пианиссимо», принято называть динамическим диапазоном звучания музыкального инструмента. Динамические диапазоны отдельных музыкальных инструментов приводятся в гл. 3 (см. табл. 4).

Все музыкальные инструменты можно свести по родственным признакам и назначению их в оркестровых ансамблях в следующие группы: струнно-смычковые инструменты, деревянные духовые инструменты, медные духовые инструменты, ударные инструменты, струнно-щипковые (народные) инструменты. Кроме этих групп существует ряд музыкальных инструментов, стоящих как бы особняком и отличающихся от остальных инструментов как по конструкции, так и по способу звукоизвлечения. К таким инструментам относятся рояль, арфа, орган и др.

В состав струнно-смычковой группы входят скрипки, альты, виолончели и контрабасы. Скрипка — самый маленький по размеру инструмент этой группы, обладающий поэтому самым высоким диапазоном частот. Большая часть звуковой энергии, в особенности высоких звуков (тех, что передают остроту и четкость), излучается с передней стороны скрипки. Поэтому при записи микрофон следует направлять на прорези в верхней деке инструмента, так называемые эфы (рис. 13).

В случае записи сольного исполнения на скрипке, определяя местоположение микрофона, особенно при записи в сравнительно большом помещении, необходимо найти компромисс между влиянием реверберации и хорошей четкостью звучания инструмента. Правильно разместить альт у микрофона несколько легче, так как направленность звукового излучения этого инструмента менее четко выражена по сравнению со скрипкой.

У виолончели корпус при игре расположен ниже, чем у скрипки и альта, поэтому при записи этот инструмент надо разместить так, чтобы он не был замаскирован другими инструментами, расположенными впереди. Во многих случаях, особенно если виолончель солирует, рекомендуется поднять ее на небольшую подставку. Некоторые звуки виолончели, в частности басовые, имеют подчеркнутый резонанс. Они могут стать нежелательными, если совпадают с собственной основной частотой помещения записи или какого-либо звена тракта звукозаписи.

Контрабас чаще всего выполняет роль басовой опоры при самых различных инструментальных сочетаниях. Это сложный для записи инструмент. От него часто бывает трудно получить хорошую четкость низких нот. Если помещение обладает малым временем реверберации на низких частотах, то звучание контрабаса получается неясным, тусклым, причем подъем низких частот путем электрической коррекции не позволяет устранить этот дефект. При большом времени реверберации на низких частотах звучание этого инструмента будет гудящим.

Необходимую четкость звучания контрабаса удается получить с помощью дополнительного микрофона, устанавливаемого рядом с инструментом. Этот прием используется обычно при записи эстрадного или джазового ансамбля. Следует учесть, что близко расположенный микрофон будет «показывать» контрабас крупным планом, тогда как остальные инструменты могут восприниматься в более удаленном плане, а это может не соответствовать звуковому построению данного музыкального произведения.

К группе деревянных духовых инструментов относятся флейта, гобой, кларнет и фагот.

Особенность звучания флейты заключается в том, что даже в заглушенном помещении она сохраняет свежесть, воздушность и ясность. Этот инструмент имеет регистры, в которых уровень звучания довольно слабый, поэтому флейту следует помещать сравнительно близко от микрофона в естественном плане, особенно при записи соло. Однако при слишком близком размещении исполнителя у микрофона в записи могут прослушиваться специфические шумы — свистящие звуки струи воздуха, рассекаемой краями так называемого амбюшюрного отверстия инструмента.

При размещении гобоя у микрофона необходимо помнить, что звук излучается не только из раструба, но большая часть его исходит также из боковых отверстий, открываемых соответственно взятым нотам. Это касается и остальных деревянных инструментов. В заглушенном помещении гобой звучит тускло, он требует «воздушной» обстановки.

При выборе звукового плана для кларнета следует учесть, что в крупном плане может прослушиваться шум дыхания, вызванный избытком давления при атаке ноты. Особенно это заметно при записи эстрадных и джазовых произведений, где кларнету часто поручаются сольные партии и исполнитель размещается непосредственно у микрофона. В верхнем регистре звук у кларнета резкий и крикливый, поэтому в этом случае его желательно располагать подальше от микрофона. Используя кларнет в низком регистре при очень мягкой игре, его следует помещать в крупном плане, в этом случае звук получается сочный, полный, нежный.

Фагот, наиболее низкий по диапазону из четырех основных инструментов деревянной духовой группы, является как бы басом этой группы. При размещении фагота особых трудностей не возникает. В конечном счете следует руководствоваться впечатлением от прослушивания, помня, что дирижер может не обратить внимания на искажение тембра этого инструмента.

Кроме перечисленных основных инструментов в группу деревянных духовых входят различные их разновидности, а также английский рожок и саксофон. Особенность звучания английского рожка заключается в том, что даже при близком размещении у микрофона оно кажется отдаленным. Саксофон имеет широкий частотный диапазон (две с половиной октавы) и обладает очень большой, сравнительно с другими деревянными инструментами, силой звука. Тембр саксофона мягкий, певучий, но энергичный, с заметной вибрацией. При записи соло саксофона необходимо учитывать, что звук идет из отверстий на теле инструмента, прикрываемых особыми клапанами. Только самые нижние частоты звучат в основном из раструба. Поэтому микрофон следует располагать на расстоянии 1—1,5 и на высоте 1—1,2 м.

В группу медных духовых инструментов входят валторна, труба, тромбон и туба.

Валторна — инструмент мелодический по тембру звучания, служит связующим звеном между деревянной и медной духовыми группами. При размещении инструмента у микрофона следует учесть, что валторна обладает звуками большой силы и даже при игре «пиано» ее звучание может быть «пронизывающим». И это несмотря на то, что раструб инструмента при игре направлен в противоположную сторону от фронта записи. В зависимости от направления раструба

на отражающую или поглощающую поверхность звучание инструмента можно усилить или уменьшить.

Труба обладает самым ярким по тембру звучанием среди инструментов медной духовой группы. При громкой игре (особенно в высоком регистре) она способна прорезать самую мощную звучность оркестра. При особо тихой игре или игре с сурдиной трубу можно размещать в крупном плане. В общем случае из-за сильно выраженой направленности трубу следует размещать в естественном или удаленном плане сбоку от оси направленности микрофона. При записи трубы в небольшом помещении для создания удаленного плана и большой гулкости раструб трубы можно направить на отражающую поверхность (окна, оштукатуренная стена с масляным покрытием), чтобы в микрофон в основном попадали отраженные звуки.

Тромбон обладает более низким по регистру звучанием, чем труба. Громкость звучания этого инструмента особенно велика в диапазоне от 2000 до 3000 Гц, близко совпадающем с участком максимальной чувствительности уха. Поэтому при записи эстрадного и джазового ансамбля исполнителя следует располагать в стороне от микрофона, на достаточном удалении от него.

Туба используется преимущественно в симфонических оркестрах. Особых условий при записи этот инструмент не требует. Надо только помнить, что звук у тубы излучается вертикально вверх.

Ударная группа включает весьма разнообразные инструменты, которые сходны только в том отношении, что звук из них извлекается при помощи удара. Все они делятся на инструменты, имеющие определенную звуковысотность (литавры, ксилофон, колокольчики, челеста и пр.) и не имеющие таковой (треугольник, малый и большой барабаны, тамтам, бубен и пр.). Как правило, ударные инструменты в симфоническом оркестре не требуют установки специального микрофона. При записи эстрадной, а особенно джазовой музыки, для ударных инструментов необходим отдельный микрофон.

Ударная установка эстрадного ансамбля состоит из большого барабана, тамтама (разновидность малого барабана), тарелок и хай-хэта (две тарелки, соединяемые и размыкаемые с помощью ножной педали). На малом барабане, тамтаме, тарелке и хай-хэте играют с помощью палочек, специальных металлических щеток и мягких колотушек. В каждом случае звучание их очень различно. Так, например, звучание тарелок в зависимости от силы удара может простираться от едва слышного звенящего шелеста до пронзительных звонких ударов, перекрывающих самое мощное звучание оркестра.

Для записи ударных инструментов микрофон устанавливают в непосредственной близости от них, на расстоянии 15—20 см. При таком размещении он воспринимает только прямой звук, что придает звучанию ударных рельефный и в то же время «сухой», конкретный характер. Правда, при этом возникает опасность воздействия большого звукового давления на микрофон и вследствие этого возникновения перегрузки в микрофонном усилителе. Чтобы избежать этого, необходимо включить дополнительное затухание на входе данного микрофонного канала. Для лучшей передачи особенностей игры на ударной установке иногда применяют два остронаправленных микрофона, причем один из них устанавливают перед большим барабаном в 30—40 см от него, а другой в непосредственной близости от хай-хэта (его звук обладает наибольшим количеством высоких и к тому же достаточно слабых частот), используя этот

же микрофон для тарелки и малого барабана. В каждом из микрофонных каналов проводят соответствующую частотную коррекцию (в первом канале некоторый подъем низких частот, во втором — высоких частот). Красивого звучания хай-хэта и тарелки можно добиться, используя (в отдельных случаях и весьма осторожно) эффект искусственной реверберации.

Колокольчики, колокола и треугольник, используемый в симфонических оркестрах, имеют на высоких частотах богатый и блестящий звук и требуют «воздушной» обстановки при записи. Тем не менее следует избегать излишней реверберации, чтобы не исказить переходных процессов при игре на этих инструментах. Все указанные инструменты, несмотря на сравнительно малый уровень силы звука, наиболее «дальнобойны», и их звучание хорошо воспринимается общим микрофоном.

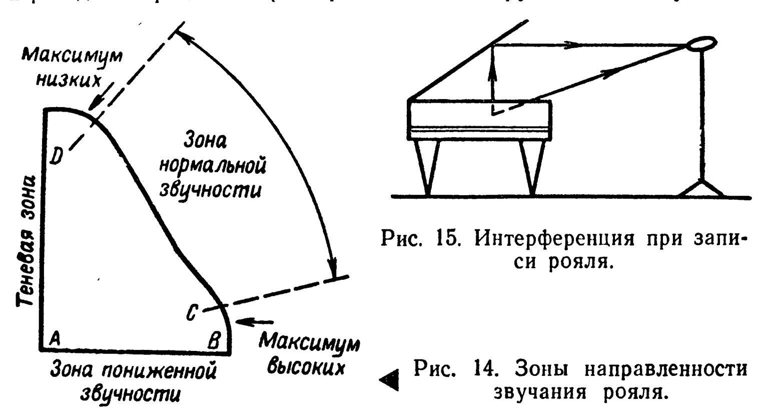


Рис. 15. Интерференция при записи рояля.

Рис. 14. Зоны направленности звучания рояля.

Рояль — струнный ударный инструмент с применением сложного клавишного молоточкового механизма для возбуждения струн. Важнейшей акустической его частью является резонансная дека, установленная под струнами и рамой, вклеенная краями в корпус инструмента. Звуки рояля в основном излучаются верхней стороной деки и после отражения от крышки инструмента направлены преимущественно параллельно струнам. Общая направленность излучения инструмента зависит от частоты звука. Эта направленность особенно ощущается при больших расстояниях между инструментом и микрофоном.

Схематично для рояля можно наметить несколько характерных зон направленности, показанных на рис. 14. Участок перед стороной *AB* представляет собой зону звуков пониженной интенсивности, однако однородную. Зона *B* (наиболее короткие струны) характеризуется преобладанием высоких частот. Криволинейный участок *CD* с большим разнообразием тембров является рабочей зоной, причем зона *D* характеризуется преобладанием низких частот. Теневая зона *DA* отличается очень слабой и неравномерной звуковой отдачей. При записи микрофон устанавливают, как правило, в рабочей зоне. Выбор местоположения микрофона в этой зоне позволяет уравновесить интенсивность звучания музыкального произведения, исполняемого левой и правой руками. Неудачное размещение микрофона

может привести к тому, что при прослушивании записанной фонограммы будет казаться, что звучат как бы два рояля вместо одного (первый, передающий, к примеру, верхний регистр, звучит в крупном, а второй, передающий нижний регистр, в удаленном плане). Это создает впечатление ложной звуковой перспективы.

Техника записи рояля оказывается различной и в зависимости от характера записываемого произведения. Так, например, яркие бравурные пьесы требуют более удаленного плана, чем лирические. В первом случае звукорежиссер может осуществить запись широко и мощно, во втором же можно получить мягкое и нежное звучание, сохраняя при этом достаточную его определенность. Обычно микрофон устанавливают на расстоянии 1,5—5 м от инструмента на высоте 1,5 м от пола, ориентируя его непосредственно на струны. При выборе угла наклона микрофона на инструмеит следует помнить, что при полностью поднятой крышке рояля может наблюдаться явление интерференции между прямым звуком и звуком, отраженным крышкой (рис. 15).

При записи рояля в эстрадных и джазовых составах необходимо выделить с большой ясностью все переходы и остроту атак, четкость отдельных нот и аккордов. В этом случае микрофон размещают в крупном плане почти у края рояля (в зоне *CD*) с наклоном непосредственно на струны. В отдельных случаях при записи рояля можно воспользоваться двумя микрофонами, один из которых устанавливают под рояль, а другой на расстоянии 2—3 м ближе к зоне *D*. В этом случае первый микрофон хорошо воспринимает четкость атак, а второй — общее звучание.

При выборе типа микрофона для записи рояля помимо односторонненаправленного микрофона можно использовать и другие типы микрофонов. В частности, при малом времени реверберации в помещении для увеличения «воздуха» можно применить микрофон с характеристикой «восьмерка». Но при этом надо учесть, что если исполнитель при игре активно использует педаль, то реверберация в эти моменты воспринимается микрофоном сильнее, чем при непосредственном прослушивании, и тогда исполнение может потерять определенную четкость.

При записи арфы следует помнить, что ее звук слаб и легко заглушается другими инструментами. Излучение арфы более интенсивно в направлении, перпендикулярном плоскости струн, по этой причине микрофон обычно устанавливают позади инструмента против отверстий резонирующей деки близко к струнам, однако так, чтобы не было слышно характерного шума от защипывания их пальцами.

Среди струнно-щипковых, куда входят мандолина, домбра, балалайка и другие инструменты, гитара, пожалуй, один из самых распространенных инструментов, используемых при записи в любительской практике. Запись гитары рекомендуется проводить в достаточно заглушенном помещении с реверберацией 0,6—1 с. При большой реверберации гитару следует размещать в крупном плане. Гитара — наиболее «простой» инструмент для записи, даже при размещении ее в крупном плане.

При записи баяна, чтобы сохранить естественное равновесие басовых и высоких звуков, микрофон лучше располагать со стороны правой руки исполнителя. Однако при слишком близком размещении микрофона в записи могут прослушиваться щелчки клапанов, которые особенно слышны при игре стаккато.

9. Запись вокалистов

Существует несколько достаточно определенных критериев, по которым можно охарактеризовать певческий голос. Важнейшие особенности певческого голоса — это его высота, тембр, сила, полетность, вибрато. Кроме того, как и в художественной речи, большое значение имеет дикция певца.

Звуковысотный диапазон певческого голоса определяется интервалом между наиболее низкой и наиболее высокой нотами, которые певец в состоянии воспроизвести. Певческие голоса по высоте делятся на мужские — бас, баритон и тенор и женские — контральто, меццо-сопрано, сопрано и колоратурное сопрано. Кроме того, исключая басы, различаются лирические, лирико-драматические и драматические голоса. Басы же делятся на высокие (так называемые контанте) и низкие (профундо).

Звуковысотные диапазоны (в герцах) основных групп певческих голосов следующие: 82—349 для баса, 110—392 для баритона, 131—523 для тенора, 165—698 для контральто, 220—880 для меццо-сопрано, 262—1046 для сопрано и 330—1397 для колоратурного сопрано. Отсюда видно, что профессиональный певец должен обладать диапазоном голоса не менее двух октав. У непрофессиональных же певцов диапазон у́же.

В каждом из певческих диапазонов можно различить несколько регистров: низкий, средний и высокий. Каждый регистр характеризуется особым тембром. Ровность голоса по регистрам — это одно из главных свойств, которого стремятся добиться все певцы. Микрофон особенно чуток к переходам от регистра к регистру, и все неровности голоса при этом он как бы увеличивает и подчеркивает.

Голоса всех хороших певцов отличаются исключительным своеобразием тембра. Но вместе с тем они отличаются и одной общей закономерностью: в них во всех сильно выражены высокие обертоны с частотами 2500—3000 Гц. Эта область частот, называемая верхней певческой формантой, придает голосу певца приятный тембр с серебристым оттенком. Если тракт звукозаписи «заваливает» именно эти частоты, то голос певца в записи изменит тембр, потеряет блеск, если же в тракте эти частоты резко выражены, то голос получится неестественно высоким, резким. При недостатке в голосе у певца именно этих частот можно с помощью электрической коррекции попытаться «исправить» звучание голоса. Впечатление «мягкости» и «массивности» голосу придает низкая певческая форманта, расположенная в области 300—600 Гц.

Обычно голос хорошего певца слегка колеблется, как бы пульсирует ритмично и плавно с частотой примерно 5—7 пульсаций в секунду. Эту пульсацию голоса принято называть вибрато. Кроме придания голосу своеобразной окраски, вибрато скрадывает характерные недостатки голоса, такие, как неточность интонации, небольшие неровности звука по интенсивности, а также гнусавость. Все эти особенности вибрато сильно сказываются при звукозаписи. При плохом вибрато в голосе или его отсутствии микрофон подчеркивает указанные недостатки голоса.

Одним из существенных отличий пения от обычной разговорной речи являются его значительно бо́льшие мощность и громкость. Следует напомнить, что громкость пения зависит от выбора помещения для записи. Если запись ведется в заглушенном помещении, то певцу кажется, что его голос почему-то звучит слабо и тихо. При этом

он будет стараться достичь привычной громкости голоса и форсировать звук. Микрофоны очень чувствительны к этому и подчеркивают неестественность пения. Но и в благоприятных акустических условиях некоторые певцы, особенно те, которые не привыкли выступать перед микрофоном, бессознательно форсируют голос. При этом особенно заметно громкость возрастает на высоких нотах, что может вызвать перегрузку в микрофонном усилителе.

Исключительно большое значение для вокального мастерства имеет динамический диапазон, т. е. максимальная разница в силе голоса между форте и пиано. У профессиональных певцов (особенно оперных) динамический диапазон достигает 20—30 дБ. Певцы-любители, как правило, не имеют профессионально поставленного певческого голоса, поэтому динамический диапазон их голоса сужен и обычно не превышает 5—10 дБ. В этом отношении проводить запись певцов-любителей значительно проще, чем профессионалов.

Один из часто встречающихся в любительской практике случаев — запись пения под аккомпанемент отдельного музыкального инструмента. Рассмотрим этот вариант на примере записи пения под аккомпанемент рояля. Прежде чем заняться выбором звуковых планов для певца и рояля, необходимо обеспечить акустику окружающей среды, соответствующую характеру музыкального произведения. Если записывается лирическая или жанровая песня, то помещение может быть несколько заглушено. При записи же классических произведений, бравурных мелодий акустическая обстановка должна быть «воздушной», т. е. время реверберации в помещении должно быть несколько больше, чем в первом случае. Если запись предполагается вести в помещении, акустически подготовленном, то с помощью, например, раздвижных штор следует подобрать заглушение ближайших к исполнителям поверхностей. Раскрывая шторы, можно добиться большего «воздуха» в звучании инструментов, а закрывая их, можно реверберацию уменьшить. В другом случае может понадобиться несколько заглушить звучание только одного инструмента. Для этого соответствующего исполнителя можно разместить на ковре.

В концертном выступлении певец обычно стоит вплотную к роялю. Для записи такое размещение неудобно. При размещении микрофона относительно инструмента и вокалиста следует помнить, что от соотношения выбранных расстояний зависит динамическое равновесие между источниками звука и звуковой план каждого из них. Как правило, звуковой план певца выбирается несколько крупнее, чем план сопровождения.

Если запись в выбранном помещении проводится впервые и опыта по размещению микрофонов нет, то рекомендуется использовать двусторонненаправленный микрофон. В этом случае певца и аккомпанемент размещают по обе стороны от микрофона (рис. 16, *а*). Вначале выбирается необходимый звуковой план для аккомпанемента, а затем певец перемещается с противоположной стороны микрофона по оси его чувствительности до тех пор, пока соотношение голоса и сопровождения (звуковые планы) не будет соответствовать данному сюжету записи. В том случае, когда размеры помещения не позволяют использовать указанный прием нахождения нужного звукового плана, певцу можно рекомендовать перемещаться по радиусу на расстоянии 1—1,5 м от микрофона в плоскости угла 90°. Кроме того, частично можно изменить звуковой план, меняя угол наклона микрофона в вертикальной плоскости.

В общем случае расстояние между микрофоном и роялем, соответствующее нормальному звуковому плану, должно быть не менее 2—3 м, а певец, обладающий сильным голосом, должен находиться от микрофона на расстоянии 1—1,5 м. При исполнении лирических песен певец размещается на расстоянии 50—60 см от микрофона. Певцы с тихим голосом или певец-любитель могут размещаться на расстоянии 15—20 см от микрофона. Желательно, чтобы микрофон стоял не менее чем в 2—3 м от ближайшей стены.

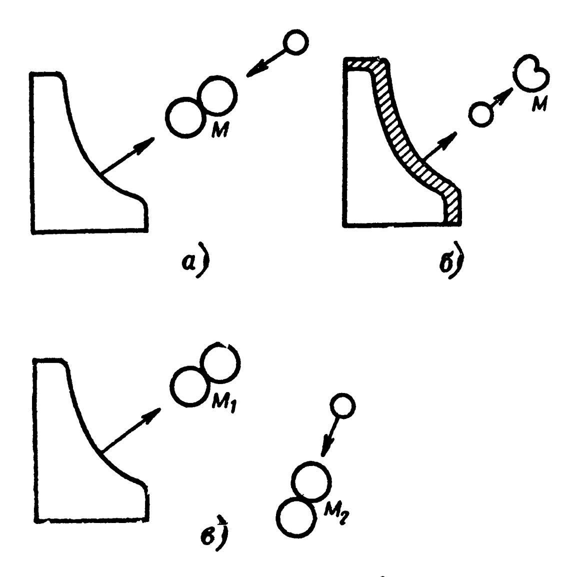


Рис. 16. Размещение певца и фортепиано при записи.

а — двусторонненаправленным микрофоном; *б* — односторонненаправленным микрофоном (крышка инструмента поднята;) *в* — двумя микрофонами.

Чтобы сохранить достаточную ясность и отчетливость исполнения вокалиста, крышка рояля, как правило, должна быть закрыта. При необходимости повысить уровень звучания рояля крышку можно приподнять на одну четверть, пользуясь малым костылем. Кроме того, при размещении певцов следует учитывать характер голоса. Один и тот же звуковой план для разных голосов требует различного размещения микрофона. Так, например, если разместить бас на расстоянии 1 м от микрофона, то для сопрано тот же звуковой план будет получен всего на расстоянии 0,6 м. Объясняется это тем, что звуки низкой частоты меньше ослабляются с расстоянием, нежели звуки высоких частот.

При пользовании для записи односторонненаправленного микрофона вокалиста и аккомпанемент нужно располагать в растворе рабочего угла (рис. 16, *б*). Чтобы не проявлялся эффект экранирования, микрофон желательно установить выше головы певца и накло-

нить его в сторону аккомпанирующего инструмента. Недостатком такой схемы является то, что певец не видит аккомпаниатора.

Если позволяют технические возможности, то запись пения в сопровождении аккомпанирующего музыкального инструмента желательно проводить, используя два односторонненаправленных микрофона (один для аккомпанемента, другой для певца). Преимущества этого варианта заключаются в том, что при нем можно более четко провести разделение по звуковым планам, проводить частотную коррекцию и вести обработку каждого сигнала в отдельности. При необходимости увеличить гулкость записи можно использовать двусторонненаправленные микрофоны, причем ориентировать их «мертвые углы» надо так, чтобы по возможности избежать воздействия на микрофоны прямых звуков от другого источника (рис. 16, *в*).

При проведении записи пения под аккомпанемент гитары, аккордеона, баяна и других инструментов можно руководствоваться указанными выше соображениями, учитывая особенности звучания каждого конкретного инструмента.

Для записи певца в сопровождении инструментального ансамбля обычно используют два и более микрофонов. При записи одним микрофоном найти наилучшее соотношение звуковых планов для певца и оркестра бывает довольно сложно. Важно не только найти правильные звуковые планы, но, что не менее существенно, нужно правильно выбрать уровни громкости для солиста и сопровождающего его оркестра. В любительской практике это тем более необходимо, потому что певцам, не обладающим достаточными вокальными данными, бывает трудно, а часто и просто невозможно перекрыть звучание сопровождающего ансамбля, и никакая регулировка на микшерском пульте не выправит этого положения.

Наиболее сложна запись хора. В этом случае, во-первых, микрофон должен воспринимать в правильном соотношении различные голоса, во-вторых, должна быть обеспечена хорошая разборчивость текста, что во многом зависит от правильного выбора звукового плана, и, в-третьих, запись хора наиболее опасна с точки зрения хорошо заметных нелинейных искажений, возникающих при малейших перегрузках микрофонного тракта. Записывая хор, обычно используют один или два микрофона. При работе с одним микрофоном хор располагается полукругом, чтобы диаграмма направленности микрофона охватывала края хора, а расстояние до любого исполнителя по фронту хора было примерно одинаково.

В общем случае расстояние от микрофона до певцов должно быть определено из соображения равномерного восприятия звучания всех партий хора, чувствительности микрофона и условий естественного звукового плана. Чтобы выделить все голоса и избежать маскировки задних рядов передними, желательно хористов располагать на специальных подставках: женщин впереди (снизу), а мужчин сзади (в верхнем ряду). Обычно однородные голоса группируются на одной и той же ступени или размещаются секторами в глубину. Например, справа налево относительно микрофона в следующем порядке размещаются: сопрано, альты, баритоны, басы. Микрофон располагают на средней высоте, несколько выше уровня головы певцов, стоящих в первом ряду, чтобы он мог воспринимать голоса хористов, стоящих в задних рядах. Это обеспечивает равномерное звучание женских и мужских голосов. В случае, когда бывает трудно четко выделить в группе хора звонкие голоса, на эту группу рекомендуется ставить отдельный микрофон.

Если в хоре имеется солист, то его следует несколько выдвинуть относительно других участников ближе к микрофону, чтобы хоровое сопровождение шло вторым планом, не заглушая солиста. Значительно проще произвести такую запись, если установить для солиста отдельный микрофон в стороне так, чтобы солист не закрывал остальных участников хора. При этом соотношение уровней сигналов с микрофона солиста и хора подбирается таким, чтобы хор прослушивался вторым планом, не заглушая солиста. Учитывается, конечно, и звуковой план оркестрового сопровождения. В зависимости от сюжета записи оркестр и хор могут звучать в одном звуковом плане, как бы дополняя друг друга, или же для хора выбирается звуковой план несколько крупнее, чем для оркестра.

10. Запись музыкальных ансамблей

Среди многообразия различных музыкальных ансамблей можно выделить следующие основные: симфонический оркестр (малый и большой), камерный оркестр, в котором преобладают струнно-смычковые и деревянные духовые инструменты, оркестр народных инструментов, духовой и эстрадный оркестры. Широкое распространение получили малые музыкальные ансамбли, такие, как трио, струнные квартеты, фортепианные квинтеты и пр., а также различные эстрадные группы. Организуя запись музыкального ансамбля, учитывают характер записываемого произведения, состав ансамбля и его исполнительские возможности, акустические условия помещения, технические возможности аппаратуры записи и в первую очередь наличие необходимого количества микрофонных каналов микшерского пульта. В зависимости от характера ансамбля, а также самого музыкального произведения определяют стиль записи, который характеризуется выбранным основным звуковым планом, большей или меньшей деталировкой звучания отдельных инструментов или групп инструментов, способом обработки сигнала и другими факторами.

С учетом сказанного желательно при организации записи музыкальных ансамблей придерживаться двух условий. Первое из них — предварительное изучение произведения как в нотном материале, так и при прослушивании в репетиционный период. Второе условие — создание рабочего плана записи, т. е. расстановка микрофонов, распределение инструментов по каналам, технология микширования, а также условия обработки сигнала в процессе записи.

Для каждого музыкального ансамбля при выступлениях на эстраде существует сравнительно постоянная схема размещения музыкантов. Однако если такое размещение дает наилучший результат при непосредственном прослушивании, то это не всегда подходит для высококачественной записи. Если у звукорежиссера нет еще достаточного опыта по записи данного состава ансамбля, то лучше начать репетиционную пробу с общепринятой схемы размещения исполнителей, а затем по мере выявления тех или иных недостатков в звучании попытаться изменить это размещение.

При записи малых музыкальных ансамблей, например, трио, квартетов и пр., типовым считается расположение исполнителей по дуге или расположение их группами попарно. На рис. 17 показаны три варианта размещения микрофона и исполнителей для записи струнного квартета. Первый вариант (рис. 17, *а*) соответствует обыч-

ной рассадке струнного квартета на эстраде (так называемая «елочка»). Запись ведется средним планом односторонненаправленным микрофоном. При этом надо стараться, чтобы крайние музыканты не оказались за пределами угла охвата диаграммы направленности микрофона, так как иначе звуковые планы боковых инструментов будут несколько смещены из-за падения чувствительности микро-

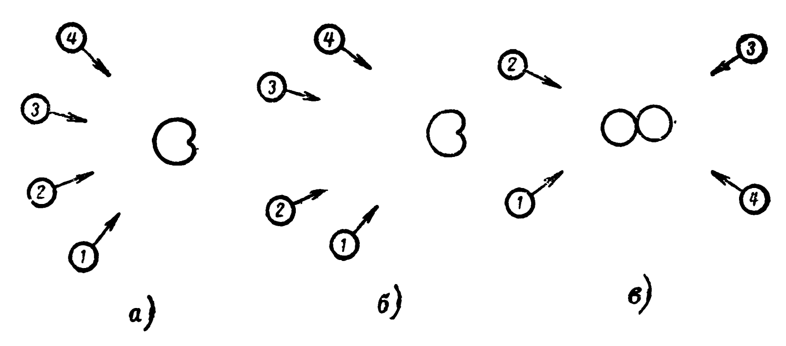


Рис. 17. Способы размещения струнного квартета при записи.
1 — первая скрипка; *2* — вторая скрипка; *3* — альт; *4* — виолончель.

фона в этих зонах. Чтобы охватить весь ансамбль, микрофон устанавливают на расстоянии 2,5—3 м от него. Возможна также рассадка исполнителей группами по два, как показано на рис. 17, *б*. При этом варианте первые инструменты не должны закрывать вторые. Расстояние между микрофоном и исполнителями выбирается в пределах 2—2,5 м. Таким образом, во втором варианте можно получить более крупный звуковой план, чем в первом. Если используется микрофон с характеристикой «восьмерка», то исполнителей можно размещать симметрично относительно микрофона. Как это показано в третьем варианте на рис. 17, *в*, принципиально эти три варианта размещения можно применять и при записи небольших эстрадных инструментальных групп.

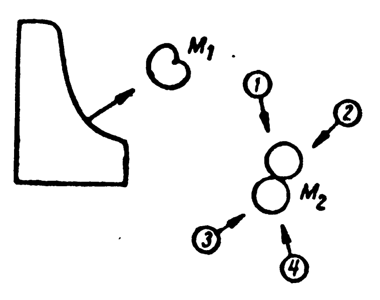


Рис. 18. Размещения фортепианного квинтета при записи двумя микрофонами.

При записи фортепианного квинтета используют различные схемы размещения исполнителей. Одна из них с двумя микрофонами показана на рис. 18. Струнная группа здесь размещается вокруг микрофона M_2 и передается крупным планом. Подобным образом можно разместить и инструментальный квартет эстрадного типа. В том и другом случае существен правильный выбор расстояния между микрофоном M_1 и роялем. Исходя из того, что рояль обычно является аккомпанирующим инструментом,

для него часто выбирают слишком удаленный звуковой план, что нарушает естественную перспективу звучания всего музыкального произведения.

При записи симфонического оркестра общепринятые схемы размещения групп инструментов могут нарушаться. В этом случае надо найти компромисс между требованиями дирижера, по указанию которого рассаживаются музыканты, и акустическими возможностя-

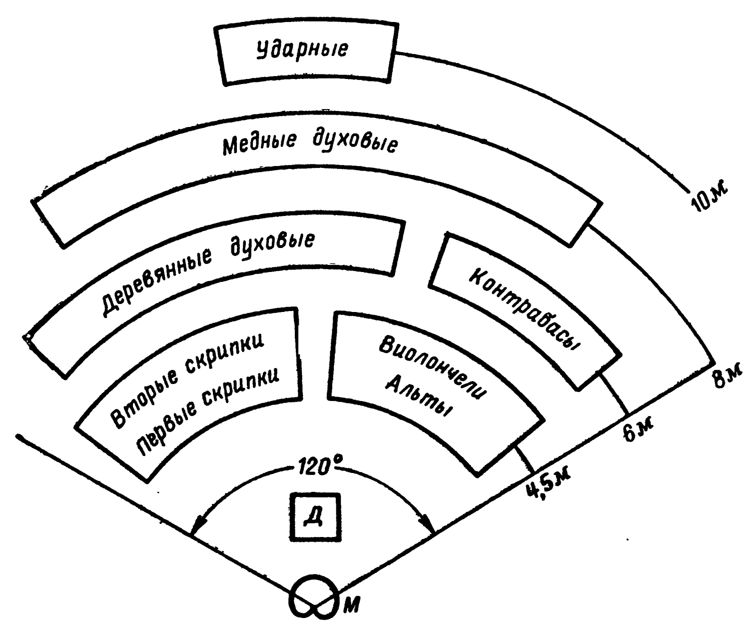


Рис. 19. Схема размещения симфонического оркестра при записи односторонненаправленным микрофоном.

ми данного помещения с учетом характеристик направленности применяемых микрофонов. Если акустические условия помещения достаточно однородны, то можно пользоваться одним общим микрофоном, размещая его так, чтобы был обеспечен охват всего оркестра. Это позволит получить единство звуковой перспективы в звучании всех групп оркестра. Звуковой план при записи симфонического оркестра желательно выбирать промежуточным между средним (естественным) и удаленным. Расстояние от микрофона до первых рядов оркестра определяется экспериментально. Целесообразно начинать с несколько увеличенного расстояния, постепенно приближая микрофон к оркестру. По высоте микрофон размещается на уровне 1,8—2 м, а угол его направленности определяется с учетом размещения исполнителей. Примерная схема размещения симфонического оркестра при записи односторонненаправленным микрофоном показана на рис. 19, а при записи двусторонненаправленным — на

рис. 20. Подобные схемы размещения можно использовать и при записи других оркестров.

Если акустические условия для записи музыкального ансамбля неблагоприятны и удовлетворительных результатов с одним микро-

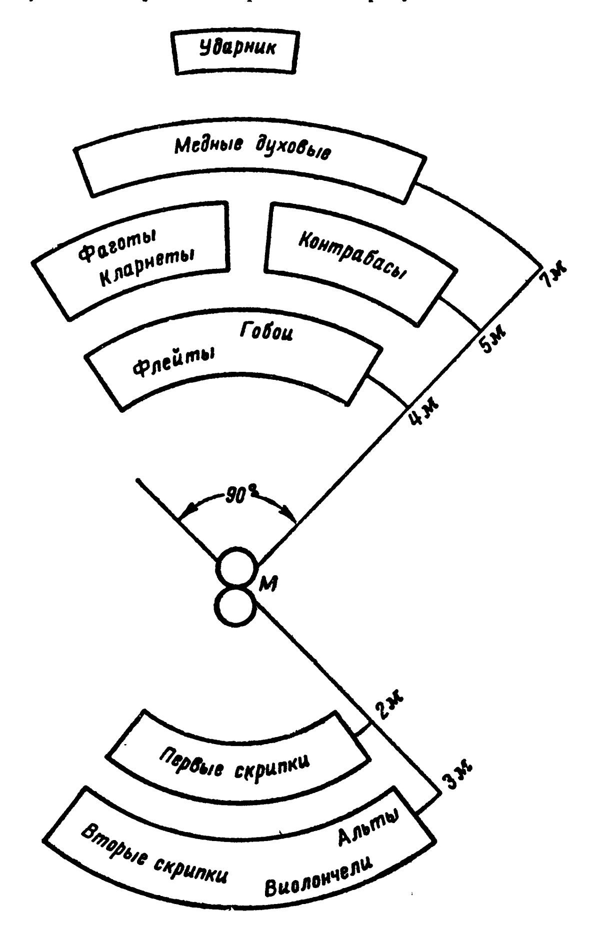


Рис. 20. Схема размещения симфонического оркестра при записи двусторонненаправленным микрофоном.

фоном получить не удается, то используют многомикрофонную систему записи. При этой системе обычно применяют сочетание общего и местных микрофонов, устанавливаемых вблизи солирующих инструментов и тех групп инструментов, которые ведут мелодию или являются ритмическим аккомпанементом.

По сравнению с записью одним микрофоном многомикрофонная система имеет ряд преимуществ. При такой системе достигается большая четкость в звучании отдельных групп инструментов, а также хорошая слитность прямых и отраженных звуков, особенно если помещение достаточно гулкое, с направленным отражением отдельных поверхностей. Кроме того, установка местных микрофонов позволяет добиться большего равновесия уровней звучания различных инструментов в зависимости от тесситуры. *

Общий микрофон устанавливается по тому же принципу, что при одномикрофонной записи. Количество местных микрофонов зависит от характера исполняемого произведения и характеристик направленности применяемых микрофонов. Кроме того, учитываются технические возможности микшерского пульта. Отдельные микрофоны можно устанавливать у таких инструментов, как медные с сурдиной и тихо играющие кларнеты, которые, как правило, очень плохо прослушиваются в записи. При установке местного микрофона надо достаточно точно определить его местоположение, так как, например, окраска и звуковой план инструментов медной группы оркестра часто совершенно меняются в зависимости от того, направлены ли они прямо или под углом к микрофону.

Соотношение уровией как общего, так и местных микрофонов подбирается и фиксируется в соответствии с характером исполняемого произведения. Во время исполнения менять установленные уровни не рекомендуется. Регулировку уровня надо производить только общим регулятором, на который подается смешанный сигнал от всех микрофонов.

Пример размещения исполнителей симфонического оркестра и хора при записи несколькими микрофонами показан на рис. 21. Однако должно быть ясно, что в практической деятельности может возникнуть необходимость размещения исполнителей и микрофонов по другим вариантам, которых может быть очень много. Следует отметить и ряд сложностей, которые возникают при многомикрофонной записи. Так, при сравнительно большом количестве микрофонов бывает трудно обеспечить художественную передачу произведения в нужной звуковой перспективе. Местные микрофоны, расположенные сравнительно близко от инструментов, могут нарушать единство звуковой перспективы, создавая многопространственность, о которой говорилось выше.

Запись оркестра народных инструментов желательно вести с одного общего микрофона, устанавливаемого перед дирижером. Местные микрофоны, если в этом есть необходимость, устанавливают обычно у баяна и деревянных духовых инструментов. Микрофон для солиста устанавливается слева от дирижера, а направление его определяется степенью отстройки солиста от оркестра. При записи духового оркестра необходимо обратить внимание на кларнеты, с тем чтобы избежать некоторой резкости в их звучании. Для этого чаще всего их размещают сбоку от микрофона.

В любительской практике наиболее часто приходится записывать эстрадные ансамбли. Поэтому некоторые особенности такой записи рассмотрим более подробно.

В любом эстрадном ансамбле можно выделить три основные группы инструментов: саксофоны или кларнеты, медные духовые

* Тесситура — высотное положение звуков в музыкальном произведении по отношению к диапазону музыкальных инструментов.

(трубы и тромбоны) и группу ритма, в которую могут входить ударные инструменты, гитара, фортепиано, контрабас и др. Первая и вторая группы выполняют в основном мелодическую и гармоническую функции. Группа ритма, как правило, несет аккомпанирующую функцию, хотя каждый инструмент этой группы может выступать в качестве солирующего инструмента. Нередко эстрадные и джазовые ансамбли, как самодеятельные, так и профессиональные, имеют в своем составе дополнительные инструменты, такие, как виброфон,

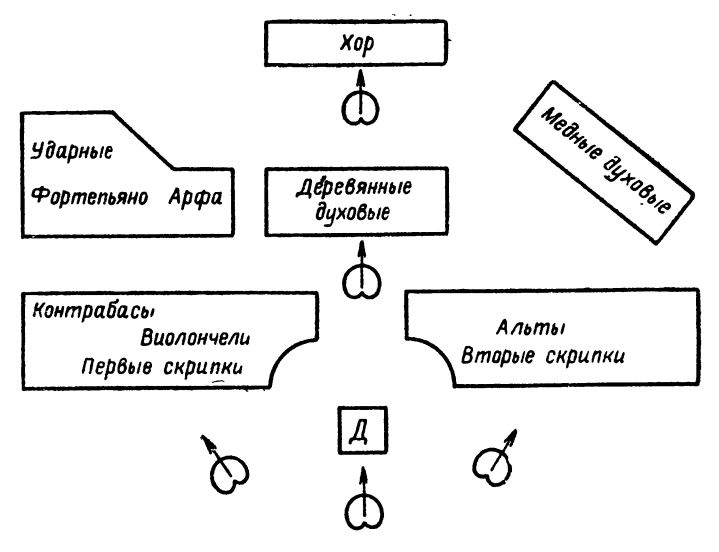


Рис. 21. Размещение исполнителей симфонического оркестра и хора при записи несколькими микрофонами.

ксилофон, скрипки, аккордеон, а также различные электромузыкальные инструменты. Схема размещения эстрадного оркестра при записи одним микрофоном показана на рис. 22.

Однако наиболее часто для записи эстрадных ансамблей, даже малого состава, используют несколько микрофонов. При записи инструментов ритмической группы нужно добиваться минимальной реверберации, что обеспечит ясность звучания и хорошую четкость атак. Поэтому микрофоны для выделения инструментов этой группы размещают достаточно близко от самих инструментов и запись ведут крупным планом. Это касается не только ударных инструментов и контрабаса, но также и рояля. Фортепианное соло в эстрадных ансамблях должно звучать сухо и достаточно жестко. Исключением в ритмической группе может явиться гитара, звучание которой можно записывать с реверберацией, если она в каких-то эпизодах выполняет мелодическую функцию.

Для записи инструментов мелодической группы можно применить один или два микрофона. Следует учесть, что инструменты этой

группы могут временами вести ритмический аккомпанемент. Поэтому в отдельных случаях число микрофонов может быть увеличено. Записывают мелодическую группу обычно средним звуковым планом, но с малым временем реверберации.

Способов записи эстрадной и джазовой музыки очень много, поэтому мы рассмотрим только наиболее употребительные, помня однако, что это не готовые рецепты, а рекомендации, с помощью которых можно облегчить поиски единственно правильного решения.

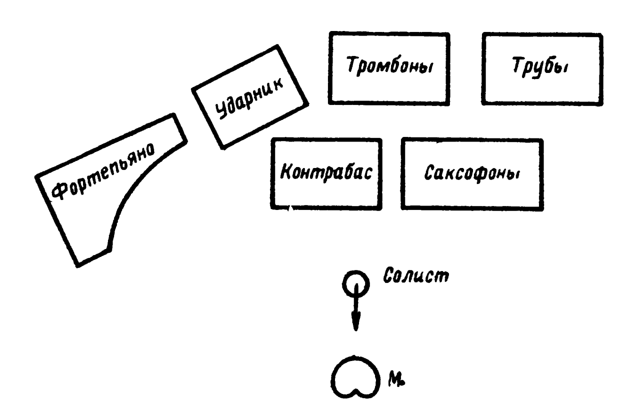


Рис. 22. Размещение эстрадного оркестра при записи одним микрофоном

Для записи трио (рояль, контрабас и ударные) можно использовать три микрофона с характеристикой направленности типа «кардиоида», как это показано на рис. 23. Микрофон M_1 размещен непосредственно над струнами рояля в районе первой октавы. Низкие частоты с помощью корректора подрезаны, высокие подняты. Звучание рояля получается очень конкретным, острым, четким. Микрофон M_2 установлен в непосредственной близости от контрабаса у вырезов в деке, а микрофон M_3 рядом с ударной установкой. Музыканты удалены друг от друга для того, чтобы избежать воздействия прямой звуковой волны от одного инструмента на микрофон другого. Кроме того, контрабас и ударную установку желательно оградить акустическим экраном (ширмой), поверхность которого должна иметь покрытие, поглощающее высокие частоты. Рекомендуется пол «кабинета» ударных застелить ковром или дорожкой.

В любительской практике достаточно широко распространен квартет ритм-трио и труба (вместо трубы может быть саксофон, кларнет, тромбон, вибрафон, флейта и другие инструменты), носящий название «комбо». Запись этого ансамбля может быть осуществлена тремя или четырьмя микрофонами по схеме, указанной на рис. 24. Звуковое давление, которое развивают перед микрофоном труба и тромбон, значительно превышают звуковое давление кларнета, поэтому трубу и тромбон размещают от микрофона примерно на расстоянии 1 м, а кларнет на расстоянии 20—30 см.

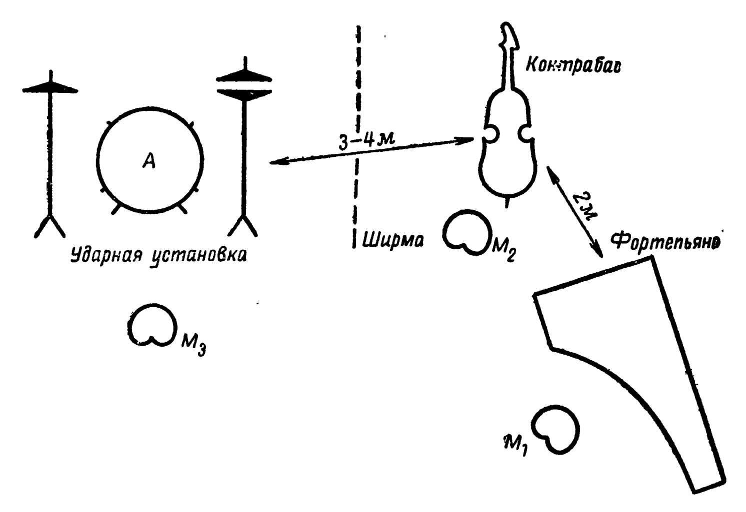


Рис. 23. Размещение эстрадного трио при записи несколькими микрофонами.

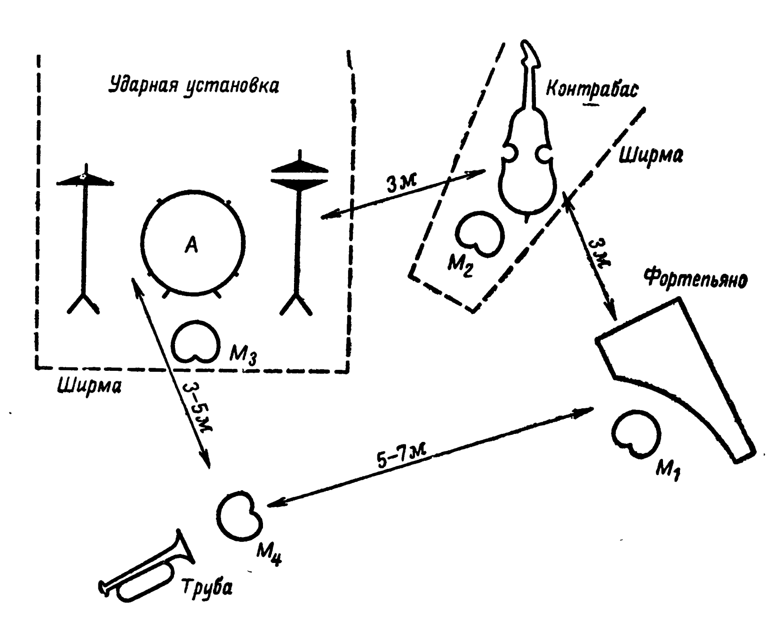


Рис. 24. Размещение эстрадного квартета при записи несколькими микрофонами.

Запись малого эстрадного оркестра можно осуществить по схеме, представленной на рис. 25. Запись эстрадного оркестра большого состава (15—17 исполнителей) в профессиональных условиях проводится с помощью 10—12 и более микрофонов. Любительские записи такого оркестра довольно хорошего качества можно осущест-

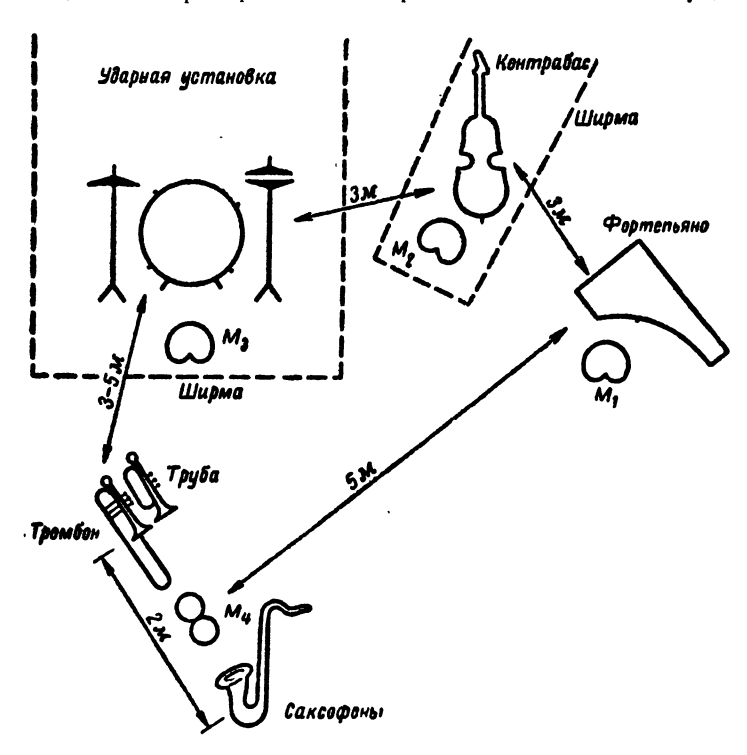


Рис. 25. Размещение малого эстрадного оркестра при записи несколькими микрофонами.

вить, используя только четыре микрофона, как это показано на рис. 26 (рассадка исполнителей обычная для концертного выступления).

Широкое распространение в любительской практике получили ансамбли электромузыкальных инструментов. Разновидностей электромузыкальных инструментов, используемых в эстрадных ансамблях, достаточно много. Здесь и мелодические (одноголосные) инструменты, и многоголосные типа электрооргана, и различные адаптиризованные струнные инструменты. Однако все эти инструменты объединяет одно — роль акустического излучателя у них выполняет громкоговоритель. Отсюда и особая методика записи. Микрофоны всегда стараются установить в непосредственной близости

от громкоговорителя. Для этого громкоговоритель устанавливают на прочную подставку, которая не должна резонировать.

В качестве примера на рис. 27 дана схема размещения микрофонов при записи такого ансамбля. В состав ансамбля входят лидер-гитара, бас-гитара, ритм-гитара, электроорган и ударная уста-

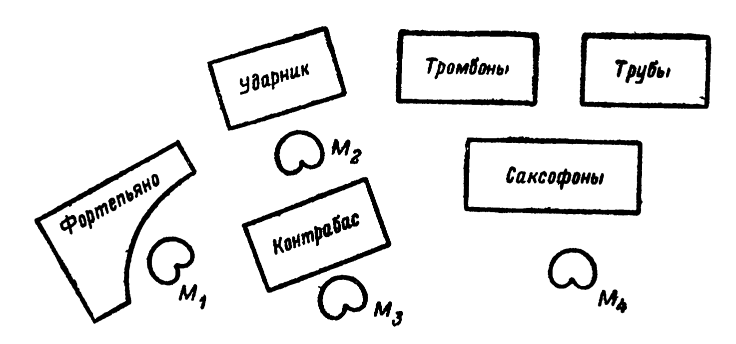


Рис. 26. Размещение большого эстрадного оркестра при записи несколькими микрофонами.

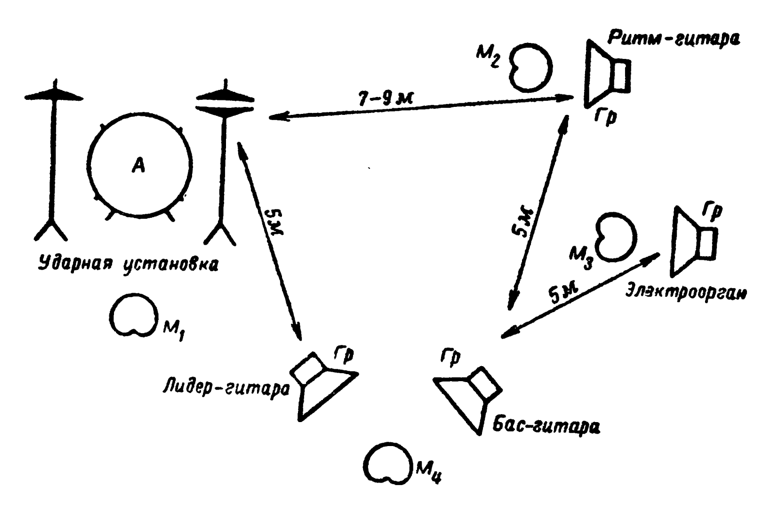


Рис. 27. Размещение ансамбля электромузыкальных инструментов при записи с помощью микрофонов.

новка. При прослушивании ансамбля непосредственно в помещении записи с помощью регуляторов громкости и тембра собственных усилителей гитар сначала подбирают баланс парного звучания лидер-гитары и бас-гитары. Затем у громкоговорителей этих инструментов устанавливают микрофон и проверяют точность балансировки уже

через контрольный громкоговоритель в аппаратной записи. После этого размещают остальные микрофоны и подбирают соответствующие уровни при записи. Микрофон для ударной установки устанавливается обычным порядком.

Электромузыкальные инструменты можно записывать способом так называемой безмикрофонной записи. В этом случае с выхода предварительного усилителя соответствующего инструмента сигнал подается непосредственно на вход высокого уровня микшерского пульта. Для того чтобы исполнители могли контролировать свою игру, громкоговорители в помещении записи не отключаются. Безмикрофонная запись предпочтительна потому, что качество любительской звуковоспроизводящей аппаратуры в большинстве случаев невысокое. Такие ее дефекты, как фон переменного тока, шумы усилителя, искажения, вносимые громкоговорителем, щелчки, переключения тембров не позволяют получить высококачественную микрофонную запись электромузыкальных инструментов.

11. Запись под фонограмму

Метод записи под фонограмму (метод наложения) нашел широкое применение при записи вокалистов и музыкальных ансамблей. Рассмотрим этот метод на примере записи вокалиста под фонограмму музыкального сопровождения.

Как уже указывалось, певец-любитель, не обладающий необходимыми музыкально-вокальными данными и опытом работы с музыкальным ансамблем, с трудом «подстраивается» под звучание музыкальных инструментов и в результате качество записи редко бывает удовлетворительным. Используя метод наложения, сначала записывают обычным порядком оркестр. Затем фонограмму музыкального сопровождения воспроизводят с магнитофона и сигнал подают в помещение записи на громкоговоритель или головные телефоны певцу. Одновременно сигнал подается на микшерский пульт. Певец, прослушивая фонограмму и в точности следуя ритму и темпу аккомпанемента, исполняет произведение. Сигнал с микрофона исполнителя также поступает на микшерский пульт. Оба сигнала корректируются по уровню и частотной характеристике, смешиваются и записываются на втором магнитофоне. Блок-схема аппаратной для записи с наложением показана на рис. 28.

Метод наложения позволяет проводить многократные репетиции, воспроизводя для исполнителя фонограмму записи оркестра и добиваясь при этом наиболее выразительного исполнения певцом данного музыкального произведения. Подобным образом можно записать с наложением на музыку и художественную речь.

Метод наложения позволяет при минимуме микрофонных каналов выразительно записывать и большой состав эстрадного оркестра. Запись в этом случае начинают с основы музыкальной пьесы — с ритма. С помощью всех имеющихся микрофонов записывают ритм-группу. Если при этом оказалось, что недостаточно четко записан, например, большой барабан, то на уже записанную фонограмму группы ритма производят его наложение. Для этого перед большим барабаном устанавливают микрофон и музыкант-ударник, прослушивая через головные телефоны или громкоговоритель исходную фонограмму, проигрывает в необходимых местах нужные акценты звучания большого барабана. Смешанный сигнал с микрофона и воспро-

изводящего магнитофона записывают на второй магнитофон. Таким образом, вторично записанная фонограмма ритм-группы будет обладать необходимой четкостью звучания всех составляющих.

Уровень громкости фонограммы в помещении записи подбирают так, чтобы микрофон, обращенный к громкоговорителю тыльной стороной, минимально воспринимал воспроизводимую фонограмму. Этого нетрудно добиться, «завалив» низкие частоты непосредственно в усилителе мощности, с громкоговорителя которого ведется прослушивание фонограммы.

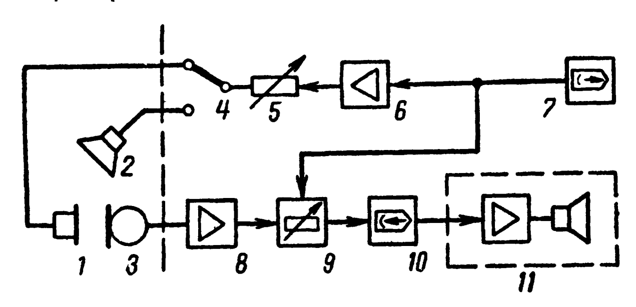


Рис. 28. Блок-схема записи с наложением.

1 — головные телефоны; *2* — громкоговоритель; *3* — микрофон; *4* — переключатель; *5* — регулятор уровня воспроизводимого сигнала; *6* — усилитель; *7* — магнитофон воспроизведения; *8* — микрофонный усилитель; *9* — микшерский пульт; *10* — магнитофон записи; *11* — контрольный акустический агрегат.

Фонограмму с записью всей группы ритма затем снова воспроизводят в помещении записи и под фонограмму записывается группа саксофонов. Музыканты слушают ритм-группу и проигрывают свои партии. У звукорежиссера есть возможность поставить на эту группу все микрофоны, использовав один из них непосредственно для подачи общего сигнала на ревербератор. В результате записи саксофоны накладываются на звучание ритм-группы, причем саксофоны звучат «с воздухом», а ритм-группа по-прежнему «сухо». Таким образом, в фонограмме появляются уже два плана.

После этого приступают к записи медных духовых инструментов, подавая для исполнителей сигнал с последней смешанной фонограммы. Как и в предыдущем случае, для записи этой группы используют все микрофонные каналы. В итоге всех сделанных наложений получают звучание целого оркестра.

Мы привели пример наиболее сложного случая многократного наложения. Обычно же стремятся делать не более двух наложений, так как многократная перезапись фонограммы ухудшает ее качество.

С помощью метода наложения можно получить различные музыкальные эффекты, в том числе так называемый эффект транспонирования, который заключается в искусственном смещении натурального звуковысотного диапазона звучания речи или музыки в сторону его повышения или понижения. В отдельных случаях может оказаться необходимым записать пение с аккомпанементом, так чтобы голос казался утрированно высоким, «игрушечным», а музыкальное сопровождение оставалось естественным. Для этого предвари-

тельно записывают с нормальной скоростью музыкальное сопровождение, а затем эту фонограмму воспроизводят с замедленной скоростью и подают сигнал в студию на громкоговоритель или головные телефоны певцу и одновременно на микшерский пульт. Исполнитель поет, следуя замедленному темпу музыкального аккомпанемента. Запись пения и музыкального сопровождения ведут на той же замедленной скорости, с которой воспроизводят аккомпанемент. Затем фонограмму воспроизводят с нормальной скоростью. В результате музыка будет звучать нормально, а голос певца прозвучит с необычным тембром. Этот метод можно использовать и для трюковой записи отдельных музыкальных инструментов. Необычный тембр солирующего инструмента на фоне оркестра с нормальным звучанием может создать интересный эффект.

Для получения указанных эффектов обычное у магнитофона двукратное изменение скорости движения ленты, например с 19,05 на 38,1 см/с или наоборот, как правило, оказывается чрезмерным. В большинстве случаев для этого достаточно изменить скорость на 20—30% номинальной. Наиболее просто это можно осуществить с помощью соответствующей втулки, надеваемой на ведущий вал магнитофона.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА ПРИ ЗАПИСИ

12. Динамический диапазон

При проведении записи работа звукорежиссера сводится главным образом к поддержанию необходимых максимальных и минимальных уровней записываемой звуковой информации и контролю качества записи. Эти функции неотделимы друг от друга, ибо регулировать записываемую программу, не имея должного представления о качестве ее звучания, невозможно, а контролировать запись, не корректируя ее недостатков, бессмысленно. Но, хотя одновременно с регулированием и проводится соответствующая обработка информации, поступающей на пульт, для простоты изложения вопросы регулирования, обработки и контроля будут рассмотрены раздельно.

Чтобы правильно осуществлять регулирование записываемой программы, необходимо достаточно ясно представлять себе ее динамический диапазон. При музыкальной программе динамический диапазон записи наряду с мелодией и ритмом оказывает сильное эмоциональное воздействие на слушателя, что особенно характерно для оркестровой музыки. В свою очередь на качество записи кроме частотной характеристики и нелинейных искажений канала записи большое влияние оказывает динамический диапазон этого канала. Таким образом, необходимо разделять понятия динамического диапазона естественного звукового сигнала и динамического диапазона канала записи.

Динамический диапазон естественного звукового сигнала зависит от вида исполнительского коллектива и характера исполнения. Поэтому уместно рассмотреть вначале динамический диапазон отдельных источников звука. Под динамическим диапазоном D отдельных

музыкальных инструментов и ансамблей (различные по составу оркестры и хоры), а также голосов понимают отношение максимальных звуковых давлений $P_{макс}$, создаваемых данным источником, к минимальным $P_{мин}$, выраженное в децибелах:

$$D = 20 \lg \frac{P_{макс}}{P_{мин}}.$$

На практике при определении динамического диапазона источника звука обычно оперируют только уровнями звукового давления, вычисляя или измеряя соответствующую их разность. Например, если максимальный уровень звучания оркестра составляет 90, а минимальный 50 дБ, то говорят, что динамический диапазон равен 90—50=40 дБ. При этом 90 и 50 дБ — это уровни звукового давления относительно нулевого акустического уровня (порога слышимости), измеренные специальным прибором — измерителем уровня (шумомером).

Динамический диапазон для данного источника звука — величина не постоянная. Она зависит от характера исполняемого произведения и от акустических условий помещения, в котором происходит запись. Реверберация расширяет динамический диапазон, который обычно достигает максимального значения в помещениях, имеющих большой объем и минимальное звукопоглощение. Почти у всех инструментов и человеческих голосов динамический диапазон неравномерен по регистрам звучания. Например, уровень громкости самого низкого звука на «форте» у вокалиста равен уровню самого высокого звука на «пиано». Как правило, у опытных исполнителей динамический диа-

Таблица 4

Источник звука	Уровень, дБ		Динамический диапазон, дБ
	минимальный	максимальный	
Гитара	40	55	15
Пение женское	45	80	20—35
Пение мужское	40	85	20—45
Мужской хор (30 человек)	50	90	25—40
Квартет струнных инструментов	35	75	25—40
Орган	50	85	35
Виолончель, контрабас	35	70	35
Речь диктора	40	70	25—30
Художественное чтение	30	80	40—50
Рояль	35	80	45
Небольшие вокальные и инструментальные ансамбли	40	85	45—55
Эстрадный оркестр	45	100	45—55
Духовой оркестр	50	100	50
Большой симфонический оркестр	35	110	60—75

пазон по регистрам оказывается более равномерным, чем у начинающих. В табл. 4 приведены усредненные динамические диапазоны звучания отдельных музыкальных инструментов, музыкальных ансамблей, а также речевых программ и пения.

Динамический диапазон той или иной музыкальной программы выражается таким же образом, как и для отдельных источников звука, но максимальное звуковое давление отмечается при динамическом оттенке *ff* (фортиссимо), а минимальное при *pp* (пианиссимо):

$$D = 20 \lg \frac{P_{ff}}{P_{pp}}.$$

Наибольшей громкости, обозначаемой в нотах *fff* (форте-фортиссимо), соответствует акустический уровень звукового давления примерно 110 дБ, а наименьшей громкости, обозначаемой в нотах *ppp* (пиано-пианиссимо), примерно 40 дБ. Связь между музыкальными обозначениями громкости, звуковым давлением и акустическими уровнями динамического диапазона указана в табл. 5.

Таблица 5

Звуковое давление, Н/м²	Акустический уровень, дБ	Динамические оттенки громкости музыки и их обозначения	Словесная характеристика
20	120	Болевой порог	—
—	110	*fff* (форте-фортиссимо)	Громко (как только можно)
2	100	*ff* (фортиссимо)	Очень громко
—	90	*f* (форте)	Громко
2×10^{-1}	80	*mf* (меццо-форте)	Умеренно громко
—	70	*mp* (меццо-пиано)	Умеренно тихо
2×10^{-2}	60	*p* (пиано)	Тихо
—	50	*pp* (пианиссимо)	Очень тихо
2×10^{-3}	40	*ppp* (пиано-пианиссимо)	Тихо (как только можно)
—	30	—	—
2×10^{-4}	20	—	—
—	10	—	—
2×10^{-5}	0	Порог слышимости	—

Следует отметить, что динамические оттенки исполнения в музыке относительны и их связь с соответствующими уровнями звукового давления до некоторой степени условна. Вообще динамический диапазон той или иной музыкальной программы зависит от характера сочинения. Так, например, динамический диапазон классических произведений Гайдна, Моцарта, Вивальди редко превышает 30—35 дБ. Вместе с тем в музыке Чайковского встречаются такие обозначения, как *pppp* и *ffff*. Динамический диапазон эстрадной музыки обычно не превышает 40 дБ, а танцевальной и джазовой — всего около 20 дБ. Большинство произведений для оркестра русских народных инструментов также имеют небольшой динамический диапазон (25—30 дБ). Это справедливо и для духового оркестра. Однако максимальный уровень звучания духового оркестра в помещении может достигать достаточно большого уровня (до 110 дБ).

Каждому мгновенному значению звукового давления перед микрофоном соответствует пропорциональное мгновенное значение напряжения на выходе тракта звукозаписи (на выходе усилителя воспроизведения магнитофона). Динамический диапазон D (в децибелах) канала записи можно определить, как отношение максимального напряжения $U_{\text{макс}}$, соответствующее максимально допустимому, при котором нелинейные искажения не превышают нормы для данного класса качества канала записи, к напряжению шумов $U_{\text{шум}}$ относительно номинального уровня записи на выходе канала:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{шум}}} .$$

Несмотря на то что динамический диапазон отдельных звеньев канала звукозаписи достигает 60 и даже 70 дБ (например, у микрофонного усилителя), передача по каналу полного динамического диапазона многих программ невозможна. Режим записи, при котором реализуется предельно возможный диапазон, практически трудно выполним вследствие неизбежного «захода» в область нелинейных искажений или в область шумов. При таком режиме требуется очень строго поддерживать уровень записи. Обычно стараются, чтобы минимальный уровень записываемой звуковой информации превышал уровень шумов в тракте на 10—20 дБ (в 3—10 раз), а максимальный был несколько меньше допустимого максимального уровня. Поэтому динамический диапазон, с которым можно передать записываемую программу по каналу, соответственно меньше, чем динамический диапазон самого канала.

Указанные ограничения динамического диапазона начинаются уже в помещении записи. Если принять за максимальный уровень звучания записываемой информации 100 дБ, то акустические условия в специализированных студиях обеспечивают возможность записи произведения с динамическим диапазоном 70—75 дБ (с учетом перекрытия шума в студии полезным сигналом на 10—15 дБ). В обычных помещениях, используемых для записи, этот диапазон снижается соответственно до 45—50 дБ.

Уязвимым звеном тракта с точки зрения нелинейных искажений является магнитофон. Даже незначительная перемодуляция магнитной ленты вызывает появление слышимых нелинейных искажений, которые в дальнейшем устранить невозможно. Поэтому динамический диапазон студийного магнитофона обычно не превышает 58—60, а бытового 35—40 дБ.

Динамический диапазон фонограммы, записанной на студийном магнитофоне, может достигать 50—55 дБ, а фонограммы, записанной на бытовом магнитофоне, 30—35 дБ. Обычно оригинал фонограммы

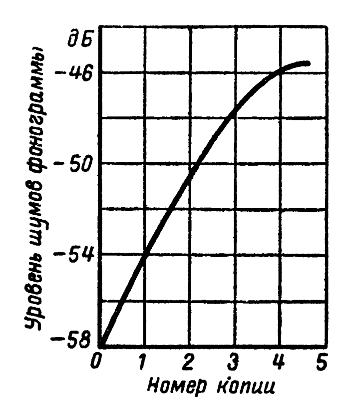


Рис. 29. Зависимость уровня шумов фонограммы от числа перезаписей.

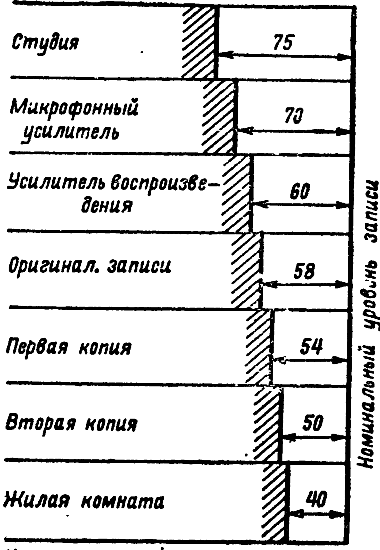


Рис. 30. Изменение отношения сигнал/шум канала звукозаписи.

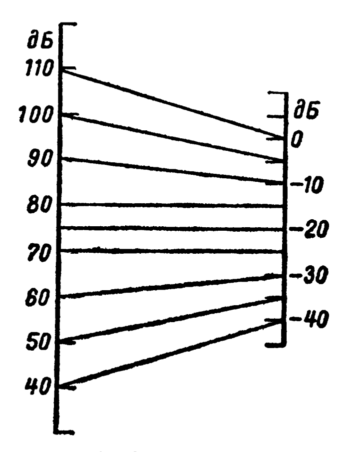


Рис. 31. Условная диаграмма сжатия динамического диапазона оркестровой музыки в канале звукозаписи.

после записи монтируют и перезаписывают, для работы же используют вторую, а то и третью копию. Как показали исследования, уровень шумов после каждой перезаписи магнитной фонограммы возрастает примерно на 4 дБ (рис. 29). Таким образом, третья копия первичной фонограммы будет иметь соотношение сигнал/шум всего 45—48 дБ, а у фонограммы, скопированной на бытовом магнитофоне, оно будет еще меньше.

Наиболее существенное влияние в ограничении динамического диапазона имеют акустические условия в помещении прослушивания. Воспроизвести программу с достаточно большим динамическим диапазоном возможно лишь при соблюдении следующих условий: если имеется достаточно мощная высококачественная акустическая

установка, если, кроме того, уровень шумов в помещении прослушивания соизмерим с уровнем шумов в помещении записи и, наконец, если звукоизоляция соседних помещений позволяет воспроизводить «безболезненно» для окружающих программу с уровнем до 100 дБ. Практически в реальных условиях, т. е. в жилых помещениях, из-за несовершенства звукоизоляции уровень шумов в среднем составляет 40 дБ и более. А максимальный уровень при воспроизведении не должен превышать 80—90 дБ, чтобы не создавать больших помех окружающим. Отсюда следует, что максимально допустимый динамический диапазон в помещении не может превышать 80—40=40 дБ. Изменение отношения сигнал/шум канала звукозаписи показано на рис. 30. Таким образом, даже в том случае, если воспроизводится программа с динамическим диапазоном более 40 дБ, самые тихие звуки будут «тонуть» в шумах, а на самых громких местах необходимо будет уменьшать усиление при помощи соответствующего регулятора звуковоспроизводящей установки.

С учетом рассмотренных выше обстоятельств при записи большинства программ возникает задача сжатия динамического диапазона, т. е. уменьшение больших уровней, опасных с точки зрения перегрузки, и повышение малых уровней сигнала, подверженных влиянию помех. В профессиональной звукозаписи в качестве наибольшего динамического диапазона принят диапазон, равный 40 дБ (отношение максимальных и минимальных уровней 100 : 1). Сжатие динамического диапазона может осуществляться как ручным способом путем соответствующей регулировки уровней записываемой программы, так и автоматически, с помощью специальных устройств. На рис. 31 представлена диаграмма, где условно показано сжатие динамического диапазона программы с 70 до 40 дБ.

13. Технические проблемы регулирования уровня

Под уровнем записи понимают степень полезной намагниченности ленты, на которой эта запись сделана. Уровень в процессе записи непрерывно меняется и поэтому можно говорить лишь о его максимальном или среднем действующем значении. При прочих равных условиях значение уровня определяет громкость воспроизведения данной записи. Чем выше уровень намагниченности ленты, тем меньшее усиление требуется от усилителя воспроизведения и поэтому уровень записи должен быть возможно выше. Однако это повышение не может быть беспредельным, так как превышение намагниченности ленты над максимально допустимой приводит к увеличению нелинейных искажений. Стандартом ГОСТ 12392-71* установлен некоторый номинальный уровень записи.

В качестве номинального значения уровня намагниченности принято действующее значение остаточного магнитного потока 256 нВб на 1 м ширины дорожки записи на частоте 400 Гц. При записи по всей ширине ленты (6,25 мм) это соответствует значению потока 1600 пВб. Коэффициент нелинейных искажений, возникающий при таком уровне записи, для ленты типа 2 равен примерно 3%, а для ленты типа 6 он составляет 2%. Зависимость коэффициента нелинейных искажений *К* от значений намагниченности ленты НЛ показана на рис. 32.

---

* Взамен ГОСТ 12107-66.

Таким образом, необходимость регулирования уровня сигнала при записи диктуется ограничением динамического диапазона: сверху до уровня, при котором появляются слышимые нелинейные искажения, а снизу до уровня шумов и помех, которые должны быть перекрыты полезным сигналом.

При ручном управлении различают оперативное и установочное регулирование. Оперативное регулирование осуществляется на микшерском пульте (ручными регуляторами уровня), а установочное проводится в различных звеньях тракта звукопередачи. Цель установочного регулирования заключается в подборе таких коэффициентов усиления отдельных звеньев тракта звукопередачи, при которых максимальные уровни записываемого сигнала будут соответствовать номинальным (расчетным) уровням в каждой точке тракта. Это регулирование проводится до начала записи, обычно с помощью измерительных сигналов, подаваемых с генераторов или измерительной магнитной ленты.

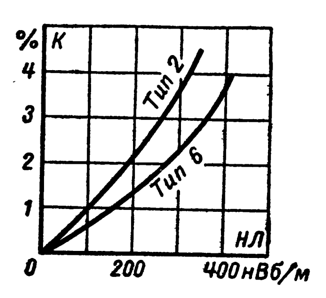


Рис. 32. Зависимость коэффициента нелинейных искажений от значений намагниченности ленты.

Для уяснения технических проблем, связанных с вопросами регулирования, построим диаграмму уровней[1] микшерского пульта, блок-схема которого была рассмотрена ранее (см. рис. 1). Диаграмма строится относительно нулевого электрического уровня, которому соответствует напряжение, равное 0,775 В. Для построения диаграммы уровней необходимо знать исходные напряжения на входе и выходе пульта. Примем, что максимально допустимый уровень на выходе линейного усилителя должен быть +12 дБ (3,1 В). Этот уровень на входе магнитофона обеспечит максимальную намагниченность ленты при записи. За номинальный входной уровень для магнитофонного входа пульта примем уровень на 20 дБ меньше максимально допустимого, т. е. +12—20=—8 дБ (0,315 В). Для входа, к которому подключается электропроигрывающее устройство, учитывая чувствительность пьезоэлектрического звукоснимателя, примем уровень —42 дБ (0,15 В). В качестве источника входного сигнала для микрофонного входа возьмем электродинамический микрофон типа МД-59.

Частотная характеристика этого микрофона имеет полосу от 50 до 15 000 Гц с неравномерностью 7—8 дБ, стандартный уровень осевой чувствительности составляет —78 дБ (чувствительность 0,63 мВ·м²/Н), а номинальное сопротивление нагрузки микрофона равно 250 Ом.

Ввиду того что сопротивление нагрузки данного микрофона отличается от 600 Ом, принятых за номинальное сопротивление при определении нулевых электрических уровней, входной уровень по напряжению будет отличаться от уровня по мощности. В зависимости от заданного сопротивления нагрузки микрофона расчетный уровень

---

[1] Диаграммой уровня называется графическое изображение распределения электрических уровней по цепи тракта.

на входе тракта можно определить по формуле

$$N_р = N_{ос} + 10 \lg \frac{R_{вх}}{600},$$

где $N_{ос}$ — стандартный уровень чувствительности микрофона, а $R_{вх}$ — сопротивление номинальной нагрузки.

Для облегчения расчетов на рис. 33 приведен график, пользуясь которым, можно перейти от уровней мощности $N_м$ к соответствующим уровням напряжения $N_в$ (и обратно) для различных сопротивлений R нагрузки микрофона. Горизонтальная сетка графика совпадает с наклонной при сопротивлении нагрузки микрофона, равном

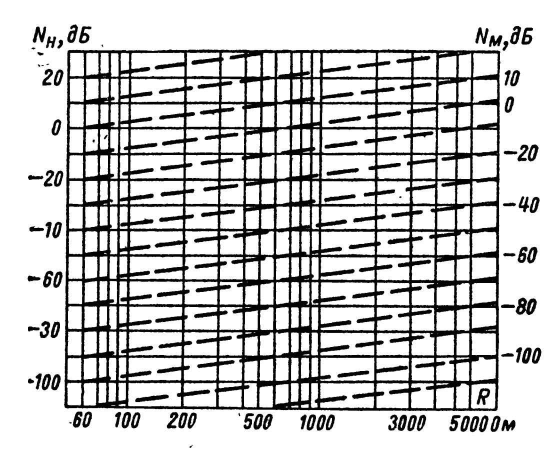


Рис. 33. График зависимости между уровнем напряжения и уровнем мощности при различных номинальных сопротивлениях нагрузки микрофона.

600 Ом, так как уровни напряжения и мощности в этом случае численно равны. Если нагрузка микрофона не равна 600 Ом, то нужно найти пересечение соответствующей горизонтальной линии уровня напряжения с вертикальной линией сопротивления нагрузки и по наклонной прямой, проходящей через найденную точку пересечения, определить уровень мощности. В нашем случае входной уровень по напряжению будет меньше соответствующего уровня мощности, т. е. указанного уровня осевой чувствительности микрофона (—78 дБ), на 4 дБ. Таким образом, исходным уровнем напряжения для построения расчетной диаграммы уровня будет — 82 дБ.

Напряжение такого уровня будет на выходе микрофона при воздействии звукового давления 0,1 Н/м^2, принятого за стандартное при оценке чувствительности микрофона. Если обратиться к табл. 5, то можно увидеть, что такому звуковому давлению соответствует акустический уровень, равный 75 дБ, лежащий в области средней громкости, между динамическими оттенками исполнения *mf* (меццо-форте) и *mp* (меццо-пиано). В соответствии с данным соотношением между акустическим и электрическим уровнями найдем уровни на-

пряжения для максимально допустимого и минимального звуковых давлений при динамическом диапазоне звуковой программы в 70 дБ. Как было показано, максимальный уровень звукового давления при таком динамическом диапазоне, создаваемый, например, большим оркестром, может доходить до 110 дБ, а уровень звукового давления шумов в помещении записи не должен превышать 30 дБ над порогом

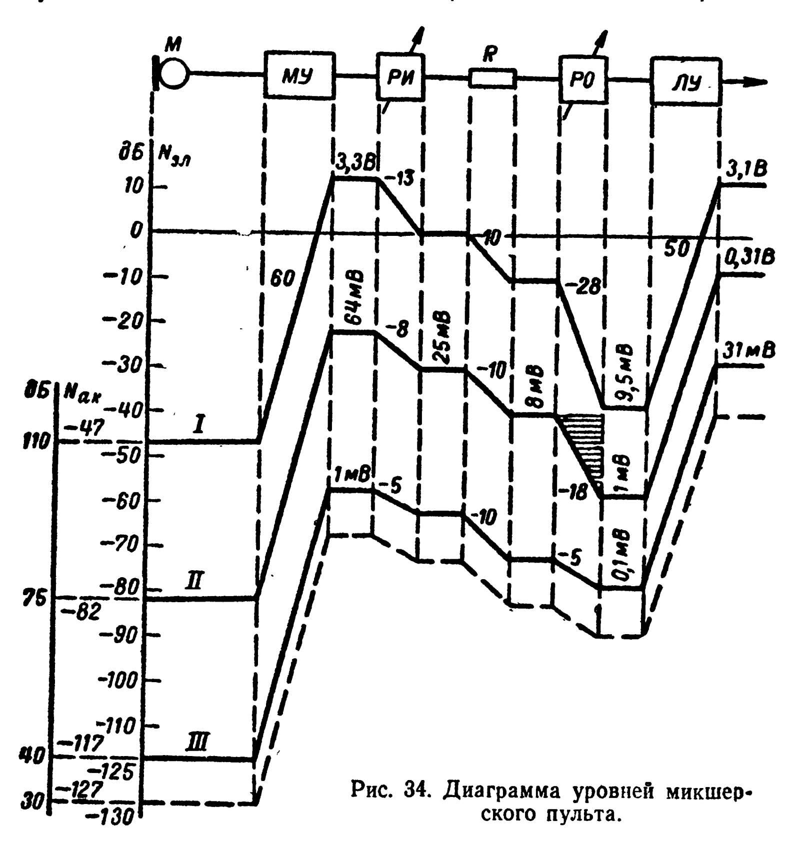


Рис. 34. Диаграмма уровней микшерского пульта.

слышимости. Тогда минимальный уровень полезного сигнала, лежащий согласно условию на 10 дБ выше уровня шумов, будет равен 40 дБ.

Таким образом, если среднему акустическому уровню в 75 дБ, создаваемому источником звука в помещении записи, соответствует электрический уровень напряжения на выходе микрофона, равный —82 дБ, тогда уровню шумов в 30 дБ соответствует уровень—127 дБ, уровню сигнала в 40 дБ соответствует уровень —117 дБ, а максимальному уровню сигнала в 110 дБ соответствует уровень —47 дБ. Для удобства построения диаграммы уровней ее совмещают со

скелетной схемой[1] тракта так, чтобы вертикальные линии соединяли точки диаграммы с соответствующими точками тракта (рис. 34). Параллельно оси ординат, на которой отложены электрические уровни, размещена шкала акустических уровней таким образом, чтобы найденным электрическим уровням $N_{эл}$ соответствовали нужные акустические уровни $N_{ак}$.

Необходимый коэффициент усиления микрофонного *МУ* и линейного *ЛУ* усилителей выбирают исходя из входного электрического уровня микрофона и заданного номинального выходного уровня, а также с учетом затухания сигнала в различных звеньях тракта (на регуляторах уровня, разделительных резисторах и в других звеньях). Минимальное усиление микрофонных усилителей должно быть таким, чтобы после них можно было включать регуляторы уровня, не опасаясь, что на регуляторах будут наводиться помехи от внешних электрических и магнитных полей. Кроме того, при слишком малых уровнях сигнала могут прослушиваться собственные шумы регулятора, возникающие при его работе.

Достаточно высокий уровень на выходе микрофонного усилителя необходим еще и потому, что частотная и другая обработка возможна лишь при сравнительно высоких напряжениях сигнала. Обычно в микрофонном усилителе предусматривают дополнительный запас усиления, что дает возможность не выводить полностью затухание регуляторов уровня при передаче слабых сигналов, а сохранять на каждом из индивидуальных регуляторов *РИ* затухание в несколько децибел. Этот установочный запас затухания позволяет скомпенсировать возможный разброс усиления отдельных микрофонных усилителей или неожиданное снижение усиления вследствие, например, падения напряжения питания, ухудшения состояния ламп (транзисторов), а также обеспечить передачу слабых сигналов. На нашей диаграмме коэффициент усиления микрофонного усилителя равен 60, а линейного 50 дБ. Как общий, так и все индивидуальные регуляторы выбраны с диапазоном регулирования в 40 дБ.

Вначале рассмотрим диаграмму уровней для расчетного (кривая *II* на рис. 34), т. е. среднего, уровня напряжения (—82 дБ). После микрофонного усилителя сигнал поступает на индивидуальный регулятор с уровнем —22 дБ. Шумы промежуточных звеньев тракта лучше перекрываются, если на индивидуальном регуляторе устанавливают минимальное затухание, а основное, необходимое, затухание вводят при помощи общего регулятора *РО*. По этой причине установочное затухание на индивидуальном регуляторе выбрано 8 дБ.

В точке смешивания сигналов от различных источников (на смесительной шине микшерского пульта) возникают потери мощности. Они обусловлены тем, что мощность с выхода индивидуального регулятора поступает не только на вход общего регулятора, но и расходуется на разделительных резисторах *R*. В рассматриваемой нами блок-схеме с учетом общего количества параллельных каналов эти потери могут достигать 10 дБ. Таким образом, сигнал на общий регулятор поступает с суммарным затуханием 8+10=18 дБ. На общем регуляторе установочное затухание для расчетного уровня выбрано также 18 дБ, что несколько меньше половины максимально возможного затухания регулятора. При таком затухании с учетом коэффи-

[1] В отличие от блок-схемы на скелетной схеме не показываются одинаковые тракты и звенья, а также вспомогательные цепи и приборы.

циента усиления линейного усилителя на выходе тракта уровень напряжения будет равен —8 дБ (0,31 В), что соответствует среднему уровню записи.

Как видно из диаграммы, в случае, если возникает необходимость записать сигнал с максимальным уровнем при исходном акустическом уровне (75 дБ), то достаточно на общем регуляторе соответственно уменьшить затухание (заштрихованная область на рис. 34). Пользоваться индивидуальными регуляторами в процессе записи не рекомендуется; они служат в основном для установки задуманного соотношения уровней от различных групп исполнителей, для выделения солирующих инструментов, голосов.

При увеличении громкости от средней до максимальной входной уровень возрастает на 70 : 2=35 дБ, а выходной должен возрасти не более чем на 40 : 2=20 дБ (кривая *I* на рис. 34). Для получения такого приращения выходного уровня необходимо увеличить затухание относительно среднего уровня на 35—20=15 дБ. В этом случае (при максимальной громкости) затухание на общем регуляторе должно составить 18+15=33 дБ. Чтобы не вызвать случайного срыва сигнала при регулировании максимальных уровней, стараются не работать в области максимальных затуханий регулятора, оставляя в запасе 8—10 дБ. В случае необходимости увеличивают затухание на индивидуальном регуляторе. Поэтому на диаграмме затухание на общем регуляторе принято равным 28 дБ и на 5 дБ увеличено затухание на индивидуальном регуляторе.

При записи сигналов минимального уровня (кривая *III* на рис. 34) на общем регуляторе устанавливают минимальное затухание и, если нужно, «помогают» индивидуальным регулятором, уменьшая установочное затухание. На диаграмме для этого случая затухание на общем регуляторе выбрано равным 5 дБ, а на индивидуальном регуляторе затухание уменьшено с 8 до 5 дБ.

Следует подчеркнуть, что, увеличивая минимальные уровни сигнала с целью сжатия динамического диапазона, мы тем самым увеличиваем уровень всех помех (на диаграмме это показано штриховой линией), попадающих в тракт до смесительного устройства. Относительно возрастает, в частности, уровень акустических помех, имеющихся в студии, а также уровень собственных шумов микрофонного усилителя. Этим именно и объясняются жесткие требования, предъявляемые к звукоизоляции помещения и собственным шумам микрофонного усилителя. Существенно может возрасти уровень шумов, если «открыто» несколько входов (включены микрофонные усилители и введены регуляторы), но сигнал поступает лишь на один из них. Такой режим работы недопустим, так как отношение сигнал/шум всего тракта в этом случае уменьшится по сравнению с тем, когда действует лишь одна входная цепь.

Построенная диаграмма дает представление о процессе сжатия динамического диапазона записываемой программы с 70 дБ на входе тракта до 40 дБ на его выходе. При записи реальных программ, особенно при регулировании максимальных и минимальных уровней, всегда возникают погрешности регулирования, обусловленные как объективными, так и субъективными причинами.

Регулируя уровни в процессе записи, звукорежиссер основывается в основном на показаниях индикатора. При сравнительно быстром изменении уровня индикатор не сразу покажет новое его значение, так как потребуется некоторое время, чтобы стрелка или световой указатель прибора достигли необходимой отметки на шкале. Это

время определяется временем срабатывания прибора. Так как в процессе записи индикатор уровня обычно подключен на выходе магнитофона, то помимо времени срабатывания индикатора на точности регулирования уровня будет сказываться задержка, обусловленная временем прохождения ленты между головками записи и воспроизведения. Следовательно, показания индикатора в каждый данный момент времени будут отставать от величины мгновенного значения напряжения записываемого сигнала, в результате чего сигнал успеет записаться прежде, чем звукорежиссер получит полную информацию о его величине.

Точность регулирования уровней существенно зависит также от времени реакции звукорежиссера на показания индикатора. С момента появления на индикаторе показания (например, о превышении максимально допустимого уровня) до ответной реакции звукорежиссера (оценка степени опасности, принятие решения, манипуляция регулятором) проходит определенное время (от 1 до 3 и более секунд), в большинстве случаев соизмеримое с длительностью самого импульса. Кроме того, имеет значение отсутствие опорного напряжения, с которым можно было бы сравнить уменьшение или увеличение уровня в любой момент времени в процессе регулирования. В результате указанных причин происходит временной сдвиг между моментом записи и моментом обработки записываемого сигнала, а отсюда возникает неизбежная погрешность регулирования.

Путем предварительных репетиций звукорежиссер может в какой-то мере установить характер изменения уровня записываемой программы и тем самым снизить указанную погрешность регулирования. Тем не менее, как показали исследования, поддержание уровня относительно требуемого лучше чем 8 дБ (±4 дБ) практически не удается реализовать даже опытным звукорежиссерам. У начинающих же эти расхождения могут достигать 15 дБ.

14. Художественные особенности регулирования

Прослушивая программу в естественных условиях, человек уже по истечении довольно короткого времени с момента начала звучания «настраивается» на средний уровень громкости, воспринимаемый как основной уровень, с которым он сравнивает и субъективно оценивает пики и провалы звучания. Если сопоставить приведенные в табл. 4 данные, то можно условно выделить три группы исполнения, различающиеся динамическим диапазоном. К первой группе, характеризуемой сравнительно небольшим динамическим диапазоном (25—45 дБ), относятся такие виды исполнения, как сольное пение, инструментальное соло и т. п. Вторая группа, включающая небольшие вокальные и инструментальные ансамбли, имеет динамический диапазон 40—55 дБ. И, наконец, третья, оркестровая группа создает максимальный уровень звукового давления (80—100 дБ) и характеризуется максимальным динамическим диапазоном (50—70 дБ). Таким образом, значение среднего уровня для разных программ различно.

Перед началом записи звукорежиссер, проводя микрофонные репетиции, определяет для данного конкретного произведения средний уровень записи и находит соответствующие ему положения регуляторов. Чтобы установить правильный средний уровень, необходимо не только выявить максимумы и минимумы уровней звучания, но и

разобраться в общей структуре записываемого произведения, в его динамике.

Динамика является одним из средств художественной выразительности в музыке. Вместе со всеми остальными элементами музыкального языка она служит целям создания художественных образов в музыкальном произведении. Исполненная без динамической нюансировки музыка во многом утрачивает выразительную силу. Не следует связывать динамику музыкального произведения только с громкостью исполнения. Если громкость есть понятие, применимое лишь к каждому из моментов музыкального развития, к тому или иному звуку или аккорду в отдельности, то динамикой можно

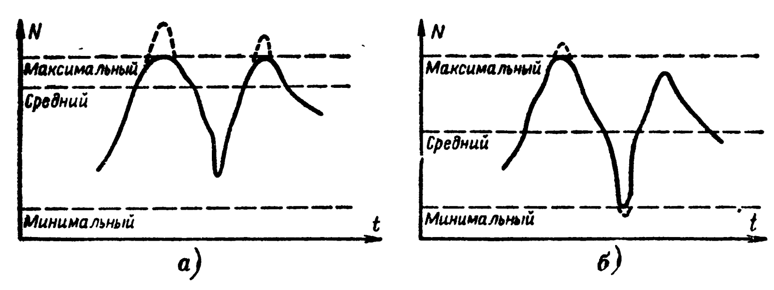


Рис. 35. Выбор среднего уровня записи.

а — неправильно; *б* — правильно.

назвать процесс изменения громкости, протекающий во времени и связанный с музыкальным развитием. Этот процесс включает в себя как постепенное возрастание (или спад) звучности, так и контрастные, внезапные сопоставления различных степеней громкости.

Правильная установка среднего уровня соответствует такому положению регуляторов, при котором наиболее полно сохраняется динамика произведения и почти не требуется вмешательства звукорежиссера. На рис. 35 показаны два случая выбора среднего уровня записи. В первом случае (рис. 35, *а*) средний уровень завышен, вследствие чего имеет место преимущественная регулировка максимальных уровней. Во втором случае (рис. 35, *б*) средний уровень выбран правильно и процесс регулирования сводится лишь к увеличению затухания регулятора при фортиссимо и уменьшению затухания при пианиссимо. Как видно из рис. 35, *б*, величина затухания, вводимого при регулировке максимальных уровней, мало отличается от величины затухания, выводимого на малых уровнях.

Для того чтобы при записи действительно как можно меньше пользоваться регуляторами, необходимо не только точно установить средний уровень, но и правильно выбрать помещение, с тем чтобы в нем не возникало акустических перегрузок, при которых регулирование значительно усложняется и, как правило, не приводит к удовлетворительному результату. Передача, динамический диапазон которой не превышает 30—35 дБ, легко может быть «отцентрирована» с самого начала так, что никакой регулировки при записи не потребуется. Это, в частности, относится к записи большинства речевых передач и большей части джазовой и эстрадной музыки.

Регулирование относительно среднего уровня используется наиболее часто, так как такое регулирование является наиболее оптимальным с точки зрения сохранения основных градаций звучания программы. Однако принципиально возможны и другие методы регулирования. При регулировании по максимальному уровню, который не должен быть превышен, общий уровень записи повышается, улучшается отношение сигнал/шум тракта, но запись при этом, каков бы ни был жанр записываемого произведения, получается однообразной. При таком регулировании максимальный уровень во время записи, например, струнного камерного квартета, большого оркестра, а также и речи остается неизменным. С художественной

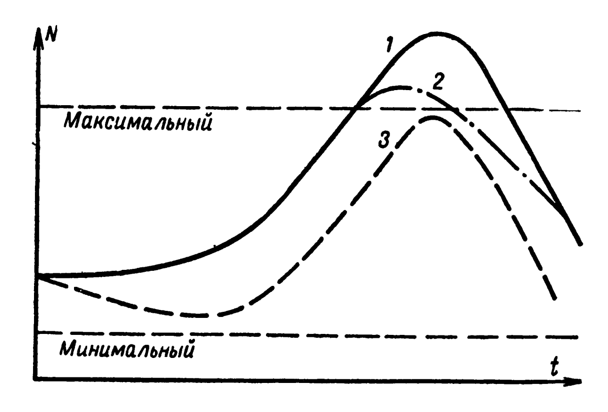


Рис. 36. График проведения регулирования.

точки зрения в этом есть явное противоречие, так как при натуральном прослушивании максимальный уровень этих программ различен. Чувство естественных пропорций требует, например, чтобы между уровнем звучания певца в сопровождении фортепиано и хора в сопровождении оркестра при фортиссимо была определенная разница. Кроме того, при регулировании по максимальному уровню повышается вероятность перемодуляции. При регулировании по уровню, близкому к уровню шумов, вероятность перемодуляции уменьшается, но общий уровень записи снижается.

В любом случае регулировка уровня должна быть такой, чтобы сохранились во времени звуковые градации нарастания и спадания звучности, т. е. динамика произведения. На рис. 36 рассмотрен пример регулирования фрагмента музыкального произведения с ярко выраженным крещендо, т. е. постепенным нарастанием звучности. Кривая *1* здесь изображает уровень записываемого сигнала на входе микшерского пульта. Как видно из рисунка, если этот импульс не будет ограничен, то в записи возникнут искажения. Звукорежиссер, не обладающий достаточным опытом, проведет регулировку по кривой *2*. Как только стрелка индикатора уровня покажет высшее допустимое значение, он поспешит срезать пик перегрузки. Эта операция создаст впечатление сдавленности и не сохранит нужный контраст. Если процесс нарастания достаточно растянут во времени, то

регулировку следует производить так, чтобы перед крещендо уровень сигнала был несколько снижен. Это даст возможность полностью сохранить характер данного музыкального отрывка (кривая 3).

Предположим теперь, что, следя по партитуре, звукорежиссер обратил внимание на приближение отдельного аккорда и предшествующую ему короткую паузу. Тогда в течение этого промежутка времени надо понизить уровень или же очень медленно уменьшать его во времени однообразного пассажа, предшествующего атаке. Вмешательство менее заметно, если оно осуществляется в тех местах, где происходит смена групп оркестра, например, когда скрипичные аккорды противопоставляются аккордам деревянных духовых или медных духовых инструментов

Прослушивание в грамзаписи различных произведений с анализом их динамического развития позволит самодеятельному звукорежиссеру правильно понять не только формальные правила регулирования, но и сознательно подходить к регулированию музыкальных произведений в каждом отдельном случае.

15. Схемные и конструктивные особенности регуляторов уровня

Ручные регуляторы уровня представляют собой приборы, коэффициент передачи которых изменяется при непосредственном воздействии оператора. К простейшим из них относится делитель напряжения (потенциометр), схема которого показана на рис. 37. Входное и выходное сопротивления такого регулятора зависят от величины затухания, определяемого по формуле

$$a = 20 \lg \frac{R}{R_1} .$$

Диапазон регулирования уровня сигнала переменным резистором (потенциометром) определяется отношением максимального напряжения к минимальному, которое можно снять с движка резистора при повороте его оси. Минимальное же напряжение, снимаемое с резистора, зависит от его начального сопротивления, т. е. наименьшего сопротивления, которое еще можно получить при плавном повороте оси, после чего скачком получается нулевое сопротивление (щетка резистора переходит с угольной подковки на контактный участок). Регуляторы этого типа наиболее просты по устройству и широко распространены в любительских конструкциях. Практические схемы микшерских пультов с использованием таких регуляторов достаточно подробно разобраны в популярной технической литературе.

Для того чтобы изменение коэффициента передачи тракта, осуществляемое регулятором, не зависело от параметров цепи, в которую этот регулятор включен, необходимо в общем случае обеспечение постоянных входного и выходного сопротивлений регулятора во всем диапазоне регулировки, так как иначе в цепь будут вноситься дополнительные затухания, меняющиеся в процессе регулировки и искажающие этот процесс. Постоянство входного и выходного сопротивлений регулятора желательно также для поддержания неизменного режима работы предыдущего и последующего звеньев цепи. При использовании простых потенциометрических регуляторов

очевидно, что величины входных и выходных сопротивлений подобного регулятора будут зависеть от положения его движка. Его входное сопротивление практически останется неизменным и равным R только в том случае, если сопротивление нагрузки значительно больше самого сопротивления R. Кроме того, переменные резисторы ненадежны в эксплуатации. Они быстро изнашиваются и в итоге появляются трески и шорохи при регулировке. По этой причине в высококачественной аппаратуре записи применяют специальные регуляторы уровня с набором постоянных резисторов и подвижными контактами.

В практике находят применение различные по конструкции и по электрическим схемам регуляторы уровня на постоянных рези-

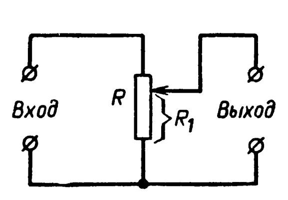


Рис. 37. Схема простейшего регулятора уровня (делителя напряжения).

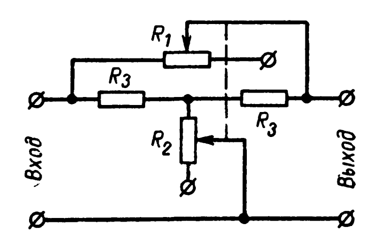


Рис. 38. Схема регулятора уровня мостового типа.

сторах. К одним из наиболее простых относится регулятор мостового типа (рис. 38). Этот регулятор имеет два подвижных контакта (движка), связанных между собой так, что при повороте ручки верхний контакт перемещается слева направо, а одновременно с ним нижний контакт снизу вверх, и наоборот, если движение верхнего контакта происходит справа налево, то нижний движок передвигается сверху вниз. Когда верхний движок находится в крайнем левом положении, а нижний внизу, регулятор на прохождение сигнала не влияет и вносимое им затухание минимальное. Когда же верхний движок переходит в крайнее правое положение, а нижний в верхнее, регулятор вносит максимальное затухание. Иначе говоря, при затухании, равном нулю, сопротивление R_1 тоже равно нулю, а сопротивление R_2 равно бесконечности. При бесконечно большом затухании сопротивление R_1 равно бесконечности, а сопротивление R_2 равно нулю. Если выбрать сопротивления R_1, R_2 и R_3 так, чтобы в процессе регулировки сохранялось соотношение $R_1 \times R_2 = R_3^2$, то в этом случае собственное, так называемое характеристическое сопротивление регулятора R_0 равно сопротивлению R_3.

Развернутая схема регулятора уровня мостового типа представлена на рис. 39. Конструктивно такой регулятор может быть оформлен в виде двух плат, расположенных одна под другой. На одной из них располагают два ряда контактов, по которым скользят щетки, закрепленные на оси регулятора. На другой плате крепят проволочные резисторы, намотанные на катушках. Для уменьшения индуктивности резисторы наматывают бифилярно, а для защиты их от воздействия внешних полей заключают в экран.

Широкое распространение получили регуляторы уровня лестничного типа, состоящие из ряда последовательно включенных звеньев затухания. В качестве звеньев используют Т-образные ячейки резистивных элементов (аттенюаторов), каждая из которых вносит в цепь прохождения сигнала небольшое затухание (1—2 дБ). Раз-

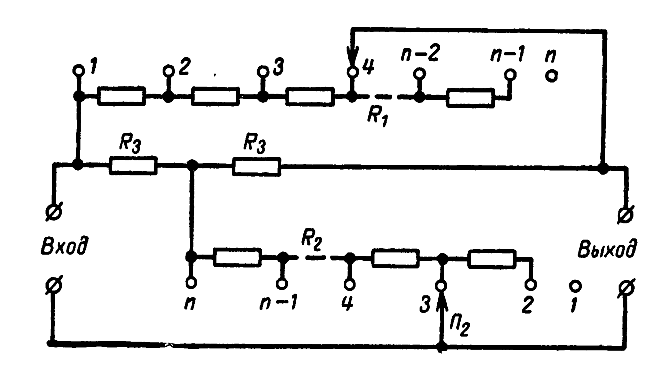


Рис. 39. Развернутая схема регулятора уровня мостового типа.

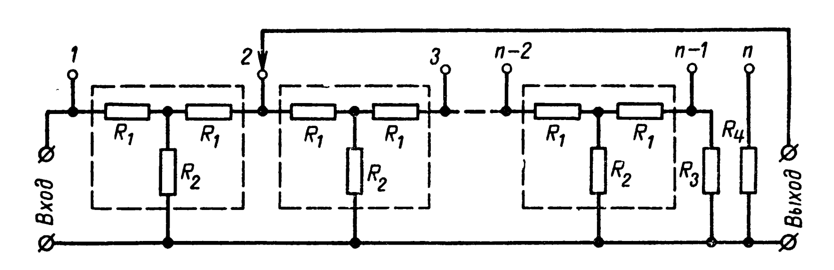


Рис. 40. Развернутая схема регулятора лестничного типа.

вернутая схема такого регулятора показана на рис. 40 Сопротивление R_3, здесь равное характеристическому сопротивлению R_c, играет роль согласованной нагрузки для всей цепочки звеньев регулятора. Поэтому при высокоомной нагрузке регулятор практически согласован с обеих сторон и затухание регулятора равно произведению количества введенных звеньев на собственное затухание звена. Выходное сопротивление регулятора постоянно и равно половине сопротивления R_c, поскольку в любой позиции движок переключателя одновременно подключен к выходному сопротивлению предыдущего звена и к входному сопротивлению последующего, каждое из которых равно R_c. В последней позиции переключателя затухание звена регулятора равно бесконечности. Для сохранения прежней величины выходного сопротивления регулятора и в этой позиции в цепь последнего контакта включен резистор R_4, сопротив-

ление которого равно половине сопротивления R_c. Лестничный регулятор прост по конструкции (в нем всего один переключатель). Поскольку все звенья регулятора имеют один шаг регулирования с одним характеристическим сопротивлением, изготовление их сравнительно просто.

Систему, состоящую из индивидуальных регуляторов и общего регулятора, обычно называют смесительным устройством (микшером)*. Различают пассивные и активные смесительные устройства. Активные смесители содержат усилительные каскады и применяют обычно при использовании потенциометрических регуляторов.

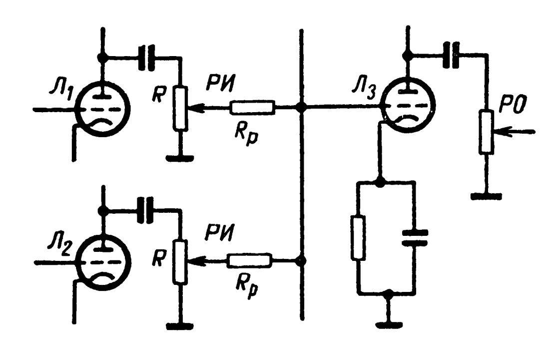


Рис. 41. Схема активного смесителя.

Простейшая схема активного смесительного устройства показана на рис. 41. Сигналы с анодов ламп $Л_1$ и $Л_2$ поступают на делители R и далее через разделительные резисторы $R_р$ на сетку лампы $Л_3$. Разделительные резисторы в этой схеме играют важную роль. Если бы их не было, то сопротивление между движком и нижним (на рисунке) выводом делителя R в меньшей или большей мере шунтировало бы выходы остальных делителей. В результате этого изменялось бы напряжение не только на выходе регулируемого делителя (например у лампы $Л_1$), но и на выходах остальных делителей, движки которых неподвижны, т. е. возникало бы их взаимное влияние. Кроме того, если движок одного из делителей поставить в крайнее нижнее положение, то сетка лампы $Л_3$ в случае отсутствия разделительного резистора будет непосредственно соединена с корпусом и прохождение всех сигналов прекратится.

Пассивные смесители не имеют усилительных каскадов и применяются при использовании резистивных регуляторов, о которых мы уже говорили. Структурная схема пассивного смесителя показана на рис. 42. Из этого рисунка видно, что нагрузка отдельного индивидуального регулятора не является согласованной, так как к его выходу кроме входа общего регулятора подключены еще и выходы остальных индивидуальных регуляторов. Если не принять

---

* Словом «микшер» (англ. mix — смешивать) называют также и отдельные регуляторы, входящие в смеситель («индивидуальный микшер», «главный микшер»).

особых мер, то при регулировании уровня индивидуальными регуляторами будет изменяться их выходное сопротивление. Изменение же выходного сопротивления одного из индивидуальных регуляторов приведет к изменению уровней на выходах остальных. Это называют взаимным влиянием регуляторов. В процессе регулирования уровня оно будет сказываться и на входном сопротивлении регулятора. Изменение входного сопротивления индивидуального регулятора будет изменять нагрузку микрофонного усилителя, что приведет к колебаниям величины его частотных и нелинейных искажений.

Для устранения взаимных влияний индивидуальных регуляторов и стабилизации их входных сопротивлений после них включают

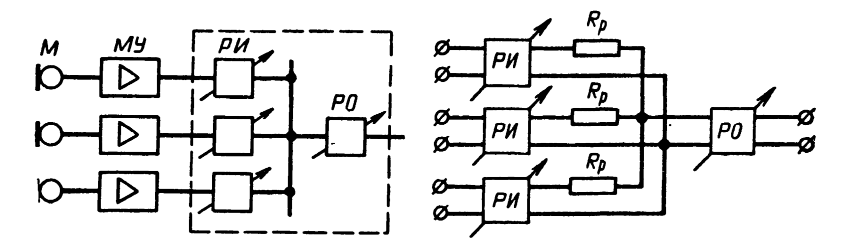


Рис. 42. Схема пассивного смесителя.

Рис. 43. Параллельное соединение регуляторов.

разделительные резисторы, как это показано на рис. 43. При этом сигнал, поступающий на один из входов смесительного устройства, на выходе ослабляется, даже если собственные затухания индивидуального и общего регуляторов равны нулю, т. е. если регуляторы полностью выведены. Часть мощности тратится на разделительных резисторах, а часть на выходных сопротивлениях остальных (неработающих) индивидуальных регуляторах. В пассивных смесителях с согласованным включением регуляторов величина собственного затухания устройства равна $20 \lg n$. Таким образом, при трех входных линиях это затухание не превышает 10—12 дБ.

Независимо от типа регуляторы уровня должны отвечать определенным требованиям. Они должны иметь заданный диапазон изменения затухания. Если необходимый диапазон регулируемого затухания должен быть равным 30 дБ, то максимальное затухание регулятора выбирают в пределах 40 дБ. Это объясняется тем, что манипулировать регулятором при больших значениях затухания затруднительно. У регуляторов, применяемых в профессиональной аппаратуре, значение регулируемого затухания находится в пределах от 40 до 90 дБ, для любительских же конструкций можно ограничиться величиной 30—40 дБ.

Шаг регулирования должен быть таким, чтобы приращение громкости при переходе от одной позиции к следующей находилось на пороге различения. Установлено, что при акустическом уровне более 40 дБ ухо различает изменение уровня примерно в 0,5 дБ. Однако для упрощения конструкции регулятора шаг регулирования можно взять равным 1 и даже 2 дБ. В области больших значений

затухания (ниже 40 дБ) допустим еще больший шаг регулировки (до 3 дБ).

Для надежности электрического контакта между щетками и неподвижными контактами щетки обычно изготавливают из фосфористой бронзы, а контакты из латуни. Для повышения надежности контакты серебрят. Весь регулятор заключают в металлический экран, который кроме экранирования, осуществляет защиту регулятора от пыли и влаги.

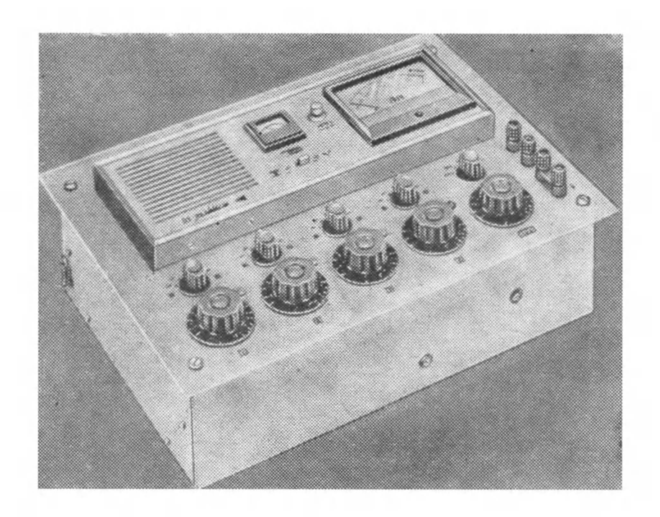


Рис. 44. Портативный четырехвходовой микшерский пульт.

Немаловажным для эксплуатации регулятора является способ перемещения его движка. При работе, в зависимости от конструкции регулятора, рукоятка может совершать либо вращательное, либо возвратно-поступательное движение. Увеличению уровня (уменьшению затухания) должно соответствовать движение рукоятки по часовой стрелке или от себя. Регуляторы с возвратно-поступательным движением рукоятки (профильные регуляторы) имеют плоскую, более компактную конструкцию и лучше вписываются в микшерский пульт, а главное, положение рукоятки в этом случае более наглядно характеризует величину введенного затухания. Опытным путем было найдено, что оптимальная длина хода движка регулятора должна составлять 130—140 мм, а зависимость величины затухания от перемещения движка должна быть линейной в дипазоне от 0 до 30—40 дБ с постепенным увеличением крутизны регулировки в области больших затуханий.

Шкалу регулятора уровня обычно градуируют непосредственно в децибелах. Коэффициенту передачи, равному единице, соответствует деление «0» (нуль), а положению обрыва — деление «∞» (бесконечность).

В конструкциях некоторых типов регуляторов предусмотрены контакты, замыкающиеся при выводе рукоятки регулятора из начального положения. Эти контакты используют для сигнализации об открытии регулятора или дистанционного запуска магнитофона. В том и другом случае напряжение замыкаемой электрической цепи не должно быть выше 36 В.

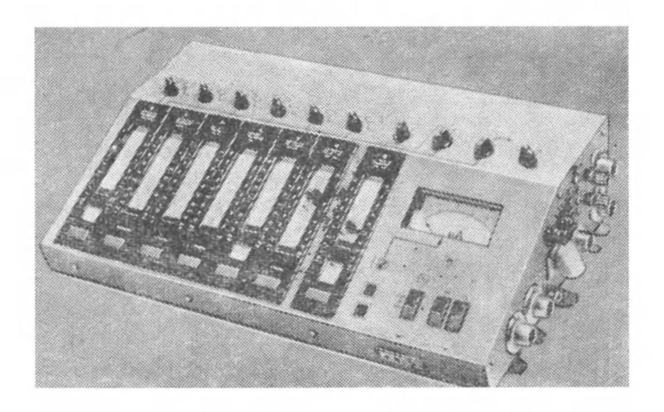


Рис. 45. Портативный шестивходовой микшерский пульт.

На рис. 44 показан портативный микшерский пульт на 4 входа с вращательным движением ручек регулятора, а на рис. 45 микшерский пульт с 6 входами и с профильными регуляторами.

16. Автоматическое регулирование уровня

Регулирование динамического диапазона вручную позволяет действовать сознательно, с учетом звуковой структуры записываемой программы. Однако звукорежиссер не всегда успевает следить за быстрыми изменениями уровня Кроме того, из-за ошибок в регулировании максимальных уровней возможно появление на выходе микшерского устройства повышенных напряжений, могущих привести к перемодуляции магнитной ленты. Если же снизить максимальный уровень, то средний уровень записи может оказаться неоправданно заниженным. В свою очередь внезапное уменьшение уровня записываемого сигнала относительно среднего уровня приводит к ухудшению отношения сигнал/шум. Своевременно предупредить опасные напряжения на выходе пульта, а также и резко уменьшить полезный сигнал можно, если одновременно с ручной регулировкой использовать автоматические регуляторы уровня

Автоматическим регулятором называется устройство, саморегулирующее коэффициент передачи в зависимости от уровня сигнала на его входе. Величина коэффициента передачи такого устройства может падать с возрастанием напряжения сигнала или, наоборот, увеличиваться. Использование автоматической регулировки облегчает

задачу поддержания нормальных уровней и дает возможность звукорежиссеру сосредоточить свое внимание в основном на художественных задачах звукозаписи.

Однако полностью заменить работу звукорежиссера при высококачественной записи автоматические регуляторы, к сожалению, не могут. Дело в том, что автоматическое сжатие динамического диапазона влечет за собой нарушение художественно необходимой динамики, лишает произведение контрастности, а само исполнение получается вялым, невыразительным. Лишь в отдельных случаях, например при записи речи, репортажей, а также в бытовых магнитофонах, где допускается снижение качества записи, действие авторегуляторов может полностью заменить ручную регулировку.

Коэффициент передачи автоматических регуляторов может меняться либо от мгновенных величин сигнала, либо от значений его

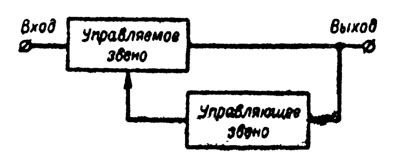


Рис. 46. Упрощенная блок-схема авторегулятора (сжимателя).

огибающей. В первом случае регулированием коэффициента передачи управляет непосредственно сигнал звуковой частоты, а во втором — напряжение, полученное в результате выпрямления напряжения звуковой частоты, причем изменение коэффициента передачи у такого регулятора происходит не сразу после изменения величины сигнала на его входе, а с некоторым замедлением во времени. Соответственно этому различают безынерционные и инерционные автоматические регуляторы. Автоматические регуляторы безынерционного типа просты и дешевы, но они вносят большие нелинейные искажения и поэтому в звукозаписи не применяются.

В инерционном автоматическом регуляторе различают два звена: управляемое и управляющее (рис. 46). В качестве управляемого звена обычно используют усилительный каскад с переменным коэффициентом передачи, а в качестве управляющего выпрямитель (детектор) и зарядно-разрядную интегрирующую цепочку (фильтры). Управляющее напряжение берут обычно с выхода регулятора. В результате его выпрямления и усреднения на управляемое звено подается напряжение, амплитуда которого изменяется в соответствии с огибающей входного сигнала, иными словами, в соответствии с его уровнем.

Инерционность авторегуляторов, определяемая управляющим звеном, характеризуется двумя величинами: временем срабатывания (установления) и временем восстановления. Временем срабатывания принято считать реакцию авторегулятора на скачкообразное повышение сигнала на входе устройства, а время восстановления характеризует реакцию устройства на скачкообразное уменьшение сигнала.

Временные параметры авторегулятора устанавливают в зависимости от их назначения. Для авторегуляторов, используемых в профессиональной звукозаписи, время срабатывания выбирается в пределах 4—5 мс, для любительской же звукозаписи это время можно увеличить до 10—20 мс. Выбор такой величины времени срабатывания объясняется тем, что для большинства источников звука время нара-

стания звучания оказывается не менее 5 мс. Так, например, звуки речи имеют время установления 6—120 мс, кларнета 50—70 мс, саксофона 36—40 мс, флейты 200—300 мс и т. д. И только такие источники звука, как электромузыкальные инструменты, а также некоторые типы ударных инструментов и отдельные естественные источники имеют время установления менее 5 мс. Время восстановления выбирают в пределах 1—4 с. При таком значении времени восстановления действие авторегулятора соответствует реакции звукорежиссера (примерно с такой скоростью звукорежиссер плавно уменьшает затухание регуляторов микшерского устройства при переходе от громкого места в записи к тихому).

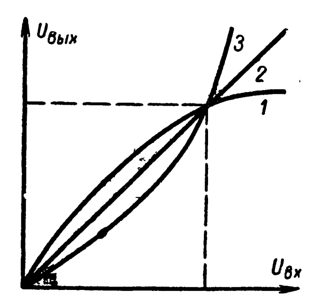


Рис. 47. Амплитудные характеристики авторегуляторов.

1 — сжимателя; *2* — обычного усилителя; *3* — расширителя.

В практике звукозаписи в основном используют два вида инерционных автоматических регуляторов: сжиматель (компрессор) и ограничитель максимальных уровней. Иногда используется также расширитель (экспандер).

Сжиматель представляет собой устройство, коэффициент передачи которого уменьшается с возрастанием уровня входного сигнала (у обычных усилителей коэффициент передачи постоянен). Зависимость напряжения $U_{вых}$ на выходе сжимателя от напряжения $U_{вх}$ на его входе изображена кривой *1* на рис. 47. Там же приведена амплитудная характеристика обычного усилителя (прямая *2*) и расширителя (кривая *3*). В сжимателях слабые сигналы усиливаются больше, нежели средние, громкие же не усиливаются вовсе или усиливаются незначительно. В результате действия сжимателя разница между максимальными и минимальными уровнями на его выходе по сравнению с такой же разницей между уровнями на его входе уменьшается. Разность величин динамического диапазона на входе и выходе сжимателя называют величиной сжатия.

При сжатии динамического диапазона происходит относительное повышение среднего уровня сигнала. Величина последнего зависит от характера программы, величины сжатия и постоянных времени зарядно-разрядных цепочек управляющего звена. Так, например, при записи речи сжатие на 10—12 дБ сопровождается заметным на слух повышением среднего уровня. Кроме того, повышается ее разборчивость и субъективно усиливается восприятие низких и высоких частот, что создает впечатление большей естественности звучания.

Увеличение сжатия приводит к усилению первичного звука по отношению ко вторичному. Если, например, со сжатием диапазона записывается речь на фоне обычно записанной музыки или шумов, то на передний план выдвигается речь. То же самое происходит при записи солирующего инструмента в сопровождении других инструментов. Таким образом, меняя величину сжатия, можно изменять в определенных пределах звуковой план звучания отдельных источников записываемой программы. Однако при слишком большом сжатии динамика записываемого произведения очень сильно нарушается. Так, например, при прослушивании музыкальной программы с силь-

ным сжатием мы не ощутим привычного для нашего слуха соотношения между громкими и тихими звуками. Музыка будет звучать плоско и ровно, другими словами, ее художественно-эстетическое качество будет обеднено.

Наиболее часто применяют сжиматель при записи танцевальной и джазовой музыки. Звучание такой музыки характеризуется подчеркнутой близостью музыкальных инструментов, что является особенностью этого вида программ. Динамический диапазон таких записей, имеющий тенденцию к сужению и нередко достигающий 10 дБ и менее, получить с помощью ручной регулировки без применения сжимателя невозможно.

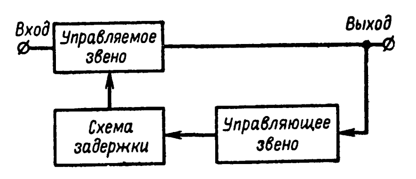


Рис. 48. Упрощенная блок-схема ограничителя максимальных уровней.

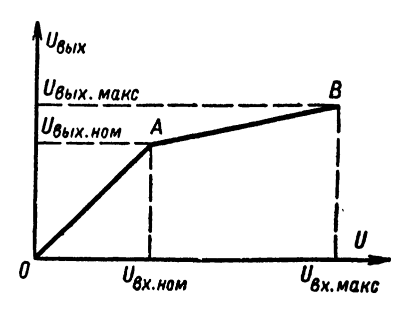


Рис. 49. Амплитудная характеристика ограничителя.

Используются сжиматели также при записи отдельных инструментов, обладающих большой неравномерностью звучания по частотному диапазону. Например, при записи без сжимателя контрабаса низкие его частоты, обладающие большим уровнем, будут преобладать над высокими. Сжиматель же позволяет сблизить уровни низкочастотных и высокочастотных звуков.

Включают сжиматель обычно в индивидуальный канал на выход микрофонного усилителя, но можно его подключать и на выход линейного усилителя для сжатия всей программы, если это оправдано художественными задачами.

Ограничитель представляет собой устройство, которое при напряжении на входе, меньшем определенной величины, обычно соответствующей 90—95% максимально допустимого уровня, работает как обычный усилитель с постоянным коэффициентом усиления. Когда же напряжение на входе ограничителя равно или превышает максимально допустимое, напряжение на входе благодаря автоматическому уменьшению коэффициента передачи ограничителя плавно снижается и лишь незначительно отличается от максимально допустимого значения.

Ограничитель максимальных уровней отличается от сжимателя добавлением в управляющее звено задерживающей схемы (рис. 48). До определенных значений сигнала на входе эта схема не пропускает управляющее напряжение на управляемое звено и ограничитель работает как обычный усилитель с постоянным коэффициентом усиления. При превышении максимально допустимого уровня сигнала задерживающая схема подает на управляемое звено напряжение, которое плавно уменьшает коэффициент усиления всего устройства. При дальнейшем увеличении входного сигнала управляющее напря-

жение также увеличивается, в результате чего коэффициент усиления уменьшается еще больше. Ограничитель восстанавливает прежний коэффициент передачи, когда уровень сигнала снижается вновь до нормальной величины. Таким образом, регулятор этого типа действует в двух режимах: усиления и ограничения. На рис. 49 изображена амплитудная характеристика ограничителя, имеющая два соответствующих указанным режимам участка *ОА* и *АВ*. Как и сжиматель, ограничитель позволяет повысить средний уровень записи на 5—8 дБ, используя запас амплитудной характеристики тракта до допустимого верхнего предела, т. е. запас, который часто оставляет звукорежиссер, желая застраховать тракт от перемодуляции при неожиданных кратковременных пиках уровня, превышающих номинальный.

В тракте звукозаписи ограничитель максимальных уровней обычно включают после общего регулятора уровня, совмещая его с линейным усилителем микшерского пульта. Поэтому подобное устройство принято именовать усилителем-ограничителем. Ограничители максимальных уровней применяют также и в бытовых магнитофонах с автоматической регулировкой уровня. В этом случае они встраиваются в усилитель записи.

Ограничитель, так же как и сжиматель, в процессе записи может использоваться для достижения определенных звуковых эффектов. Предположим, что необходимо выделить и подчеркнуть в оркестровом звучании какую-либо группу инструментов, например медные духовые, или солиста певца. В этом случае выгодно увеличить средний уровень соответствующих компонентов программы, так как известно, что в формировании ощущения громкости решающую роль играют не пики звуков, а их средние уровни. Но при этом становится трудно следить за мгновенными недопустимыми по величине выбросами уровней, вовремя на них реагировать и вручную убавлять усиление, предохраняя последующие звенья тракта звукопередачи от перегрузок. С помощью же ограничителя, включенного в тракт микрофона данного исполнителя, можно исключить перегрузку тракта. В этом случае звучание интересующих нас музыкальных инструментов будет более интенсивным, «компактным». Тем не менее использовать автоматические регуляторы при записи следует крайне осторожно. При неправильной регулировке сжимателя или ограничителя они могут стать причиной слишком большого сжатия динамического диапазона и тем самым искажения динамического рисунка записываемой программы.

Любой автоматический регулятор уровня, в том числе и сжиматель, в какой-то мере ухудшает качество передаваемой программы. Эти ухудшения практически незаметны, если динамический диапазон сжимается не более чем на 6 дБ, и всегда заметны при сжатии более чем на 12 дБ. Если же величина сжатия находится между 6 и 12 дБ, то качество записи будет зависеть от вида звуковой программы.

Рассмотрим пример использования ограничителя при записи рояля. Звук этого инструмента отличается весьма энергичным характером атаки в момент удара по струне. Затем следует более стабильный период, являющийся результатом совместных колебаний струны и деки. Кажущийся средний уровень звучания рояля определяется главным образом этой второй фазой. Так как на ограничитель воздействует энергичная, но короткая по времени атака ноты, уровень резко сжимается, восстановление же усиления происходит в течение

сравнительно длительного времени, в результате чего средний уровень громкости оказывается заниженным.

Ограничители или сжиматели, включенные на выходе тракта, могут срабатывать от малейшего пикового сигнала, например, при игре на ударных инструментах. В результате происходит кратковременное подавление уровня всей остальной программы и звучание мелодических элементов музыки как бы прерывается. К срабатыванию ограничителя могут привести также кратковременные пики уровня, которые не регистрируюся индикатором и не приводят к заметным на слух искажениям. Таким образом, даже безошибочные действия звукорежиссера по регулированию уровней будут сопровождаться срабатыванием ограничителя, что приведет к дополнительному изменению уровней, не предусмотренному звукорежиссером. По этой причине временные параметры автоматических регуляторов уровня должны быть согласованы с временными параметрами индикаторов уровня.

В научно-популярной литературе опубликовано достаточно много различных по сложности схем автоматических регуляторов уровня. Эти схемы достаточно просты, позволяют получать широкие пределы регулировки и не требуют введения в схему большого числа дополнительных элементов.

В заключение следует сказать о расширителе динамического диапазона. Расширитель (экспандер) представляет собой устройство, коэффициент усиления которого возрастает с увеличением уровня входного сигнала. Экспандер применяют при воспроизведении музыкальной программы с очень большим динамическим диапазоном, когда он при записи наверняка был сужен звукорежиссером вручную или же посредством компрессирования. Использование экспандера для воспроизведения звуковой программы, имеющей небольшой динамический диапазон (например, сольное исполнение), приводит к неестественному звучанию музыки.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ОБРАБОТКА СИГНАЛА

17. Частотная обработка

В современных методах звукозаписи обработке записываемого сигнала придается важнейшее значение. К обработке сигнала относят частотные преобразования записываемой программы, такие, как регулирование тембра, частотные ограничения, усиление и подавление отдельных частотных полос, перестановку (транспонирование) звукового спектра, а также изменение временных характеристик сигнала путем использования устройств искусственной реверберации. Реализация разнообразных возможностей обработки начинается еще в подготовительный период с выбора числа, типов и места расстановки микрофонов, сама же обработка ведется непосредственно на микшерском пульте при помощи различных приборов и устройств.

Наиболее сложной и ответственной является частотная обработка. Для такой обработки используют в основном четыре типа корректирующих устройств, выполняющих различные функции: обрезные фильтры высших и низших частот, так называемый фильтр «присутствия» и частотный корректор.

Обрезной фильтр высших частот пропускает без ослабления лишь низшие и средние звуковые частоты до какой-то определенной частоты, выбранной как граничная. В качестве частоты среза обычно выбирают частоты 6, 8 и 12 кГц. На более высоких частотах фильтр должен подавлять сигналы, обеспечивая крутизну среза частотной характеристики не менее 12—20 дБ на октаву. Например, если частота среза выбрана равной 6 кГц, то увеличение частоты на октаву, т. е. вдвое (до 12 кГц), должно вызвать падение уровня сигнал в 4—10 раз.

Обрезной фильтр низших частот ограничивает нижнюю границу рабочего диапазона, резко подавляя все сигналы с частотами, меньшими заданной частоты среза. В качестве частоты среза обычно выбирают частоты 31,5, 63, 125, 250 и 500 Гц. На более низких частотах фильтр должен подавлять сигналы, обеспечивая крутизну среза частотной характеристики также не менее 12—20 дБ на октаву. Необходимость применения фильтров для среза самых низших частот 31,5 и 63 Гц вызвана тем, что помехи в помещении записи могут содержать интенсивные низкочастотные и даже инфразвуковые колебания, способны перегрузить усилитель и привести к появлению нелинейных искажений. Поэтому эти фильтры устанавливают непосредственно во входных цепях микрофонного усилителя.

Обрезные фильтры помогают избавиться от мешающих призвуков при исполнении на некоторых инструментах, уменьшают влияние помех (фон переменного тока, шум магнитной ленты, треск, низкочастотный гул и пр.) при записи и перезаписи.

Наиболее широко применяются обрезные фильтры при записи речи, имеющей более узкий спектр по сравнению с музыкой. Умелое использование этих фильтров позволяет очень разборчиво записать речь, даже в неблагоприятных акустических условиях. Кроме того, обрезные фильтры позволяют получить в записи такие эффекты, как «телефонный разговор», «звучание радиопередачи» и т. п., широко применяемые при озвучивании кинофильмов и звуковом оформлении спектаклей. При создании указанных эффектов частотный диапазон может быть ограничен полосой 300—3000 Гц.

Как известно, при пении или игре на музыкальных инструментах звуковая энергия не распределяется равномерно по всему спектру звуковых частот, излучаемых данным источником. Анализ распределения энергии по частотному спектру показывает наличие формант, т. е. характерных для данного голоса или инструмента сосредоточений излучаемой энергии в строго определенных, иногда достаточно узких участках звукового диапазона (см. § 8). Наличие и расположение формант в частном спектре звучания того или иного инструмента является его важным выразительным средством. Фильтр «присутствия» позволяет выделить, искусственно поднять именно те частоты (форманты), которые наиболее ярко характеризуют тембр данного инструмента. В качестве фиксированных частот подъема выбирают частоты 0,7; 1; 1,4; 2; 2,8 и 4 кГц с шириной полосы подъема, равной половине октавы.

Искусственное подчеркивание формантных областей создает возможность четко обрисовать полифоническую ткань записываемой музыки, выделить отдельные мелодические линии во взаимных сочетаниях. Музыка, записанная с применением фильтров «присутствия», приобретает особую ясность, четкость, тембры звучат очень рельефно.

Таким образом, необходимым условием для действенного применения фильтра «присутствия» при записи музыки является знание того, в какой частотной области находятся форманты отдельных инструментов и какие комбинации частотных фильтров наиболее выгодны для выявления тембровых особенностей звучания данного инструмента. Изменяя частотную характеристику звукопередачи с помощью фильтра «присутствия», искусственно формируя формантные образования, можно получить интересные эффекты и, в частности, создать иллюзию приближения исполнителя к микрофону, сделать звучание более отчетливым и конкретным.

Не менее важное значение имеют фильтры «присутствия» при записи речи и пения. Как уже упоминалось, мужской певческий голос имеет две наиболее выраженные форманты, характеризующие именно хорошо поставленный голос. Это низкая форманта в области 500 Гц и высокая форманта 2800 Гц, определяющая красивый металлический оттенок, полетность и блеск голоса. Если низкая форманта недостаточно выявлена, то голос теряет глубину и округленность (звучит плоско). Поднимая уровень звукопередачи на частоте 500 Гц, можно придать звучанию голоса более полный, грудной тембр. Усиление с помощью фильтра частот в области 2000—4000 Гц придаст ему своеобразный серебристый оттенок, звонкость, выделит его на фоне других звуков. Последнее объясняется тем, что слух обладает наибольшей чувствительностью именно в указанной полосе частот. Усиление формант источника звука в пределах этой полосы повышает субъективную громкость звука и разборчивость речи.

Наиболее важным устройством, применяемым для частотной обработки, служит частотный корректор. Он либо входит составной частью в предварительный усилитель, либо бывает выполнен в виде самостоятельной конструкции (отдельного усилителя). Корректор позволяет осуществить как завал, так и подъем частотной характеристики в области нижних и верхних частот.

Заметное на любой нетренированный слух изменение тембра происходит в том случае, когда корректор позволяет изменять усиление на данной частоте не менее чем на 6 дБ (в два раза). Однако такое изменение усиления во многих случаях оказывается недостаточным. На основе многочисленных опытов установлено, что наиболее широкие возможности при обработке записываемой программы дает корректор, позволяющий изменять усиление на нижних и верхних звуковых частотах в пределах ±15—20 дБ. Такой интервал регулирования тембра достигается на крайних частотах рабочего диапазона (40—60 и 12 000—15 000 Гц) по отношению к усилению на средней частоте (1000 Гц).

Использование частотного корректора при звукозаписи позволяет звукорежиссеру очень активно воздействовать на частотную характеристику записываемой программы, формируя ее в зависимости от художественных требований. С помощью корректора можно добиться более естественного звучания отдельных источников и всего ансамбля в целом при наличии акустических дефектов студии, недостаточно качественных характеристик микрофонов и не вполне удачном их расположении относительно источника звука. Так, например, при записи в помещениях малого объема, чтобы ослабить низкочастотную составляющую сигнала, которая может привести к «бубнящему» характеру звучания, с помощью корректора снижают уровень самых низких частот.

Корректор, включенный в индивидуальный канал, позволяет выделить (или, наоборот, подавить) определенную область частот, подчеркнув тем самым характерные оттенки звучания отдельных музыкальных инструментов. В канале общего микрофона, охватывающего весь ансамбль и наиболее удаленного от источников звука, с помощью корректора обычно поднимают верхние частоты на 3—6 дБ, так как эти частоты приходят к микрофону ослабленными. Иногда для ослабления мешающих шумов, проникающих в помещение записи, в этом же канале приходится снижать усиление на нижних частотах. Во всех случаях, применяя частотный корректор при записи симфонической и камерной музыки, необходимо стремиться к сохранению естественности тембров звучания всех инструментов акустической атмосферы студии.

Особенно широкие возможности открываются перед звукорежиссером при использовании корректора в случае записи легкой, эстрадной, танцевальной и джазовой музыки, где нет сложившихся традиций исполнения и допустимо применение всевозможных средств художественной выразительности.

Существенную помощь может оказать корректор и при монтаже записанной программы, во время перезаписи магнитной фонограммы. Одна из трудностей, с которыми приходится сталкиваться при монтаже сложной фонограммы, заключается в снижении четкости речи при ее совмещении с музыкой или шумами. Маскирующий эффект при таких сочетаниях действует исключительно неблагоприятно. Например, если речь изобилует нижними частотами и совмещаемая с ней музыка также звучит в низком регистре, то одним только подбором соотношений уровней добиться желаемого результата трудно. Используя же частотный корректор в каждом из каналов, можно создать желаемое частотное соотношение между музыкой и речью, не нарушая четкости звучания каждой из них.

Необходимость применения корректора может обусловливаться также акустическими особенностями воспроизведения записанной программы. Так, например, если речь, записанную с нормальным уровнем, воспроизвести с большой громкостью, то при ее восприятии будет субъективно ощущаться подъем нижних частот и речь будет казаться искаженной. Чтобы устранить этот нежелательный эффект, необходимо корректором обеспечить затухание, главным образом на нижних частотах, а иногда и на верхних. Введение затухания на верхних частотах может понадобиться для поддержания общего баланса между верхнечастотными и нижнечастотными компонентами речи, когда вводится значительное затухание на нижних частотах.

При использовании частотных фильтров и корректора нельзя забывать, что чрезмерный подъем и завалы в области как низших, так и высших частот могут существенно исказить характер записываемой программы. Завал высших частот (от 2—3 кГц и выше) придает звучанию программы тусклость, звук становится приглушенным, ухудшается разборчивость речи, излишнее же усиление высших частот приводит к подчеркиванию шипящих и свистящих звуков речи, к неестественно резкому, раздражающему слух звучанию музыки. Завал низших частот (от 100—200 Гц и ниже) лишает звучание сочности, нарушает красоту тембра, а чрезмерное их усиление вызывает ощущение неприятного «бубнящего» звучания.

Для правильного проведения частотной обработки следует учитывать спектральный характер записываемой программы при

ограничении как верхних, так и нижних частот. Так, например, при записи музыкального ансамбля, имеющего в своем составе контрбас и ударную установку, ограничение полосы пропускания ниже частоты 100 Гц достаточно заметно обеднит тембр общего звучания и, наоборот, такое же ограничение при записи женского голоса будет способствовать улучшению разборчивости речи.

18. Частотные фильтры и корректор

Существует достаточно много схемных решений частотных фильтров, применяемых для коррекции частотной характеристики тракта звукопередачи.

На рис. 50 показана схема простейшего *RC*-фильтра, используемого для среза высших частот в общем спектре сигнала. На низ-

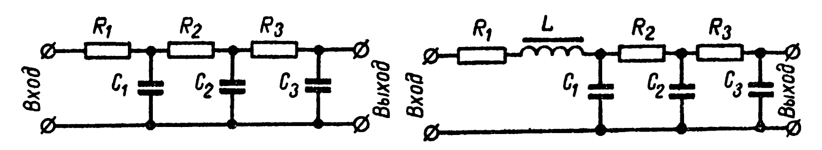


Рис. 50. Схема трехзвенного обрезного *RC*-фильтра высших частот.

Рис. 51. Схема фильтра с повышенной крутизной среза высших частот.

ших частотах, когда емкостное сопротивление велико, напряжение на выходе фильтра станет немногим меньше, чем на его входе, и, следовательно, затухание будет мало. С увеличением частоты емкостное сопротивление уменьшается, напряжение на выходе фильтра также падает и, следовательно, затухание возрастает. Однако крутизна затухания однозвенной цепи *RC* мала, поэтому для ее увеличения применяют два или три звена.

Последовательное включение нескольких звеньев *RC* приводит к увеличению крутизны среза при условии, что эти ячейки существенно не нагружают друг друга. Это условие можно выполнить, когда величины входящих в них активных сопротивлений прогрессивно возрастают от входа к выходу, так что в смежных ячейках сопротивление в последующем звене, например, на порядок выше предыдущего. При этом важно соблюсти равенство постоянной времени всех ячеек.

Для обрезного фильтра высших частот с крутизной среза от 20 дБ и более на октаву целесообразно применять схему, состоящую из одной ячейки *LC* и одной-двух ячеек *RC* (рис. 51). Поскольку требуемая величина добротности индуктивного элемента в таком фильтре оказывается равной приблизительно трем, схема получается достаточно малогабаритной и несложной в осуществлении. Для удовлетворительной работы фильтра выходное сопротивление источника сигнала должно быть возможно меньше. Иногда его снижают путем применения эмиттерного повторителя. Изменения частоты среза добиваются переключением конденсаторов фильтра.

Для среза низших частот также можно применить ячейки *RC*, как это показано на рис. 52. На этих частотах емкостное сопротив-

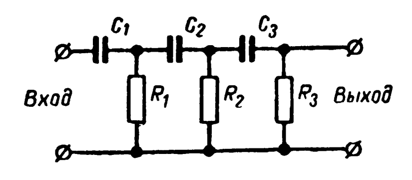


Рис. 52. Схема трехзвенного обрезного RC-фильтра низших частот.

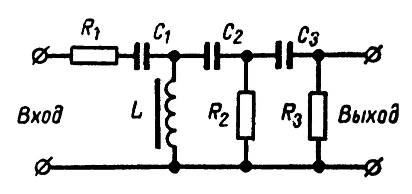


Рис. 53. Схема фильтра с повышенной крутизной среза низших частот.

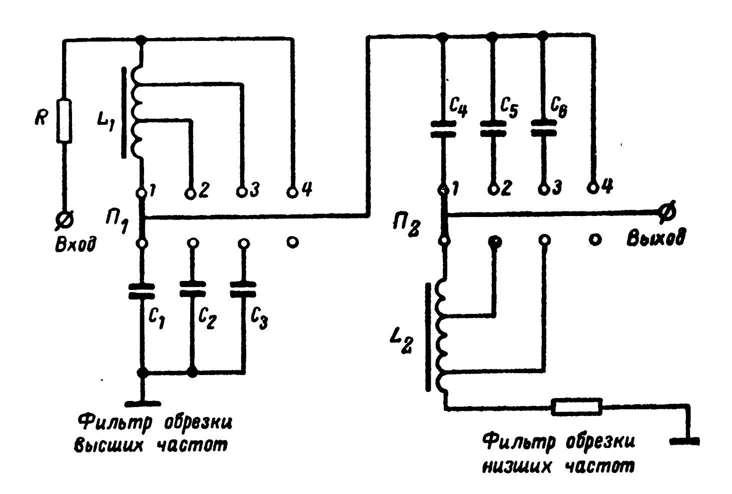


Рис. 54. Схемы фильтров обрезки высших и низших частот на элементах LC.

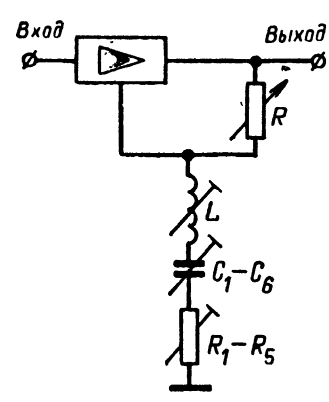


Рис. 55. Схема фильтра «присутствия» на элементах LC.

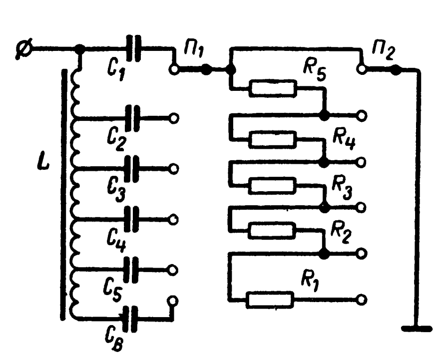


Рис. 56. Практическая схема фильтра «присутствия».

ление велико и поэтому фильтр имеет большое затухание. С увеличением частоты сопротивление уменьшается, соответственно уменьшается также и затухание высоких частот, напряжение на выходе фильтра возрастает. Как и в случае обрезного фильтра высших частот, в обрезном фильтре низших частот для повышения крутизны среза от 20 дБ и выше применяют схему с комбинированными ячейками *LC* и *RC* (рис. 53).

Наиболее часто в качестве обрезных фильтров находят применение звенья последовательно соединенных элементов *LC*. Типичные схемы таких фильтров показаны на рис. 54. Принцип работы этих фильтров не требует особого пояснения. В фильтре обрезки высших частот при положении *1* переключателя $П_1$ затухание этих частот наибольшее, а в положении *4* фильтр отключен. В фильтре обрезки низших частот при положении *1* переключателя $П_2$ затухание этих частот также наибольшее, а в положении *4* фильтр тоже отключен.

Схема фильтра «присутствия» также может быть собрана из цепочек *LC* (рис. 55). Набор таких цепочек включается в цепь обратной связи усилителя. Путем уменьшения отрицательной обратной связи на резонансной частоте коэффициент передачи на этой частоте возрастает, на остальных же частотах он останется прежним. Одна из практических схем фильтра «присутствия» показана на рис. 56. Подключение к тракту соответствующего контура, а следовательно, и выбор частоты подъема осуществляются переключателем $П_1$. Высоту подъема на каждой частоте регулируют переключателем $П_2$, подсоединяющим к фильтру последовательность резисторов R_1—R_5.

В качестве фильтра «присутствия» могут применяться и другие схемы, в частности собранные на *RC*-элементах. Наиболее простая схема такого фильтра показана на рис. 57. В разных положениях

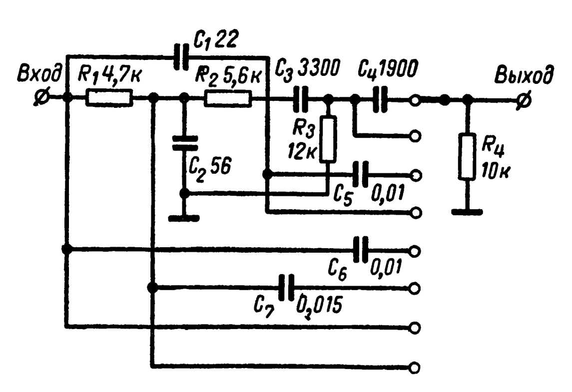


Рис. 57. Схема фильтра «присутствия» на элементах *RC*.

переключателя *П* этой схемы можно получать разнообразные оттенки звучания.

Фильтры «присутствия», как и все остальные корректирующие устройства, являются составной частью микшерского пульта и включаются обычно в тракт после индивидуального регулятора. Для

упрощения конструкции микшерского пульта все корректирующие устройства можно объединить в одном блоке коррекции и подключать к нему любой из индивидуальных трактов.

Среди огромного разнообразия схем регулирования частотной характеристики для звукозаписи наиболее часто используют регуляторы двустороннего действия. Такие регуляторы позволяют осуществлять как относительный завал, так и относительный подъем частотной характеристики на низших и высших частотах тракта по отношению к некоторой условной средней частоте (1000 Гц). Обычно корректирующее устройство содержит два усилительных каскада, между которыми установлены цепи, позволяющие регулировать низшие и высшие частоты.

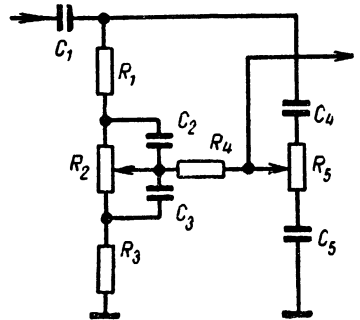


Рис. 58. Схема регулятора низших и высших частот частотного корректора.

Рис. 59. Схема режекторного фильтра на элементах *RC*.

На рис. 58 приведена одна из наиболее распространенных схем регулятора низших и высших частот (регулятора тембра). Эта схема с незначительными изменениями типична для большинства корректирующих устройств. Напряжение звуковой частоты с предварительного каскада усиления корректора поступает на соединенные параллельно цепочки R_1, R_2, R_3, C_2, C_3 и C_4, R_5, C, где происходит разделение сигналов по частотному спектру. Сигналы низших частот не могут пройти через конденсатор C_4 к потенциометру R_5, так как сопротивление этого конденсатора для низших частот намного больше сопротивления резистора R_1. Поэтому такие сигналы попадают в первую цепочку, где их величина регулируется потенциометром R_2. Для сигналов высшей частоты, напротив, сопротивление конденсатора C_4 намного меньше сопротивления резистора R_1, поэтому эти сигналы проходят без существенного ослабления на потенциометр R_5, регулирующий частотную характеристику на высших частотах. Резистор R_4 служит развязкой цепей низших и высших частот. Для получения наиболее плавного регулирования тембра потенциометры R_2 и R_5 выбирают с линейной характеристикой изменения сопротивления (типа *А*).

Сигналы средних частот в звено регулирования высших частот ответвляются незначительно, а в звене низших частот они сильно шунтируются конденсатором C_3, поэтому на выходе схемы средние частоты оказываются значительно ослабленными. Таким образом,

относительное «усиление» крайних частот рабочего диапазона достигается ценой уменьшения на выходе схемы сигналов средних частот. Это заставляет вводить в схему корректора дополнительные каскады усиления специально для компенсации потерь на затухание в цепи регулятора тембра.

В профессиональных микшерских пультах широко применяют корректоры с фиксированным положением ручек регуляторов низших и высших частот (ступенями по 3 дБ). Использование таких регуляторов позволяет более точно проводить регулировку в процессе записи. Однако конструкция частотного корректора при этом существенно усложняется.

Кроме частотного корректора и рассмотренных выше фильтров при записи и перезаписи могут быть применены и другие корректирующие устройства, в частности так называемый режекторный (заграждающий) фильтр. С помощью такого фильтра можно срезать (завалить) нежелательные пики частот в записываемой программе.

Режекторные фильтры можно собрать по различным схемам, в том числе и по схеме из элементов RC. Одна из таких схем приведена на рис. 59. Отличительная особенность ее заключается в достаточно значительной крутизне характеристики затухания по сравнению с обычными звеньями RC других фильтров. При определенном выборе R и C на какой-то частоте токи в элементах звеньев будут равны по величине и противоположны по направлению, а это значит, что ток в нагрузке станет равен нулю и фильтр эту частоту не пропустит. Значение частоты максимального затухания можно регулировать переменным резистором R_3. При уменьшении его сопротивления затухание сдвигается в сторону высоких частот. Набор режекторных фильтров, каждым из которых можно вырезать определенную полосу частот, позволит расширить возможности частотной обработки сигнала при записи и перезаписи.

Надо заметить, что, собирая те или иные частотные фильтры для звукозаписи, радиолюбитель открывает перед собой широкое поле деятельности в получении различных эффектов путем комбинирования известных схем. Например, если фильтр «присутствия», показанный на рис. 55, использовать не в цепи обратной связи усилителя, а непосредственно в тракте звукопередачи, то это позволит получить завал на определенных частотах, т. е. такое устройство будет работать как режекторный фильтр. И, наоборот, если в цепь отрицательной обратной связи усилителя включить, например, RC-фильтр верхних частот из элементов RC, то такое устройство можно использовать как фильтр нижних частот.

В заключение следует сказать, что все корректирующие устройства вносят в записываемую программу дополнительное затухание, величина которого может достигать 10—15 дБ. Для его компенсации в тракт звукопередачи приходится включать промежуточный усилитель, устанавливаемый обычно в смесительном устройстве перед общим регулятором.

19. Искусственная реверберация

Искусственной называют реверберацию, вводимую в звуковую программу при передаче последней по электроакустическому тракту, причем эффект реверберации создается не из-за влияния самого по-

мещения, из которого ведется передача (запись), а при помощи специального устройства (ревербератора, эхо-камеры), подключаемого к тракту. Принцип получения искусственной реверберации заключается в том, что сигнал с микрофона после усиления подается на устройство, где создается последовательность его повторений, убывающих по уровню с течением времени. Полученный на выходе устройства сложный (реверберирующий) сигнал подмешивается затем в тракт звукозаписи в том или ином соотношении с уровнем основного сигнала, чем и создается необходимый звуковой эффект.

Воздействовать на получаемый эффект реверберации можно либо изменением времени реверберации, т. е. скорости затухания эхосигналов в самом устройстве, либо изменением соотношения уровней прямого и реверберирующего сигналов. И тот и другой способ регулировки влияет на субъективно ощущаемое качество звучания, которое условно называется гулкостью. Однако оба эти вида регулировки не всегда взаимозаменяемы. При регулировке времени искусственной реверберации звучание записываемой программы будет восприниматься как кажущееся изменение акустики помещения, из которого ведется передача. В этих же условиях изменение соотношений между реверберирующим и прямым сигналом, схожее в принципе с изменением акустического отношения, создает эффект смены звуковых планов, т. е. большего или меньшего приближения исполнителя к микрофону. Отсюда следует, что желательно иметь возможность раздельной регулировки обоих факторов, влияющих на создание эффекта искусственной реверберации.

Использование искусственной реверберации является составной частью общей обработки сигнала при записи речи, пения, музыки, шумов. Такой вид обработки может диктоваться как техническими условиями, так и художественно-эстетическими задачами записи. Рассмотрим некоторые из наиболее часто встречающихся случаев использования эффекта искусственной реверберации в практике звукозаписи.

Искусственную реверберацию применяют при записи музыкальных программ, когда не удается с помощью только расстановки микрофонов и регулировки уровней создать необходимое соотношение между гулкостью и четкостью звучания. Особенно это необходимо, когда запись ведут в помещении с неудовлетворительной акустикой или малого для данного состава исполнителей объема. В таких случаях микрофоны приходится устанавливать достаточно близко к исполнителям, в результате чего звучание записываемой программы получается излишне «сухим», без ощущения «воздуха», пространства.

При записи вокалиста или солирующего инструмента, когда он «тонет» в звучании сопровождающего ансамбля, ревербератор может помочь создать необходимую акустическую окраску голоса или инструмента. С помощью искусственной реверберации можно при записи создать эффект приближения и удаления источника звука (музыкальный инструмент, певец, группа инструментов), в то время как сам источник звука будет оставаться неподвижным относительно микрофона. Для этого, как уже указывалось, к прямому звуку, идущему от источника, подмешивают в большей или меньшей мере реверберирующий сигнал, создавая тем самым иллюзию изменения акустического отношения, а значит и впечатление изменения звукового плана. Так, например, при близком размещении медных или ударных инструментов у микрофона с помощью искусственной ре-

верберации можно несколько «отодвинуть» их в глубину звуковой картины.

Возможность при записи изменять реверберацию имеет для звукорежиссера примерно такое же значение, как для пианиста применение при игре правой педали. В случаях, когда это обусловлено художественными особенностями записываемой программы, с помощью искусственной реверберации можно увеличить слитность звучания отдельных групп инструментов, а также корректировать недостаточную естественную реверберацию в помещении записи.

Применение искусственной реверберации для создания различных звуковых планов имеет ту характерную особенность, что при иллюзии дальнего плана может сохраниться четкость звучания отдельных групп источников звука и их тембровая окраска, характерная для близких планов. Эта противоречивость впечатления от звуковых планов в случаях применения искусственной реверберации служит одной из причин того, что при записи симфонической, оперной и камерной музыки эффект реверберации используют крайне осмотрительно.

Если для классической и современной симфонической музыки критерием является принцип единства звуковой перспективы, то для эстрадной, джазовой музыки, наоборот, акустическая многоплановость и различная фоническая трактовка звучания отдельных групп исполнителей используются при записи как одно из важных выразительных средств. Каких-либо строгих правил применения искусственной реверберации при записи музыки этого жанра не существует. Приемы и средства записи определяются, с одной стороны, характером музыкального произведения и исполнительскими возможностями самого ансамбля, а с другой — техническими возможностями, а также фантазией и вкусом звукорежиссера.

Обычно ритмическая группа эстрадного ансамбля передается сухо, четко, без реверберации. Тем не менее, если такие инструменты этой группы, как рояль, электрогитара, исполняют сольные эпизоды, то их звучание нередко реверберируют. Перед возвращением этих инструментов к ритмической функции отбираемый от них на вход ревербератора сигнал немедленно выключают, так как даже при небольшом опоздании четкость передачи ритма будет испорчена. Мелодическую группу нередко записывают с большой реверберацией бас стараются записать полнозвучно, с умеренной реверберацией или вовсе без нее. Такие функции, как подголоски, имитация, фигурация, исполняемые теми или иными инструментами, записывают с различной реверберацией в зависимости от сюжета записи.

К искусственной реверберации прибегают для улучшения и подчеркивания художественной выразительности речи, пения, звучания отдельных музыкальных инструментов. При использовании высокой тесситуры у некоторых инструментов звук становится жестким, неприятным для слуха. Например, у флейты в высоком регистре звук скорее напоминает чистый тон звукового генератора, нежели музыкальный инструмент. С ревербератором звук этого инструмента может стать красивым и на самых высоких нотах. Включение ревербератора в канал записи скрипок делает их звучание воздушным, а восходящий пассаж струнных с добавлением увеличивающегося уровня искусственной реверберации производит эффектное впечатление звука, улетающего в пространство.

Используя искусственную реверберацию при записи вокалистов, отдельного инструмента или группы инструментов, оптималь-

ного художественного эффекта достигают при разном значении времени реверберации и уровня реверберационной составляющей в общем сигнале. Так, например, при слишком большом уровне искусственной реверберации четкость мелодического рисунка и острота звуковой атаки скрипок заметно вуалируются, а слишком малый уровень ведет к снижению эффективности, «нарядности» их звучания. При записи жанровой, лирической песни, романса эффект реверберации может быть минимальным, а при записи эстрадной, массовой песни, наоборот, он должен быть существенно увеличен.

Кроме того, необходимо отметить, что для медленной музыки время реверберации может быть увеличено, а для быстрых темпов оно должно быть уменьшено. Время реверберации можно выбрать (ориентировочно), руководствуясь помещенными во многих партитурах метрономическими данными, которые, как известно, точно определяют темп музыки. В табл. 6 приведены нормы времени реверберации в зависимости от темпа, показаний метронома и продолжительности такта.

Таблица 6

Темп	Количество ударов метронома в минуту	Продолжительность метрической доли, с	Предпочтительное время реверберации, с
Largo	40	1,50	3,00
	50	1,20	2,40
	60	1,00	2,00
Larghetto	70	0,86	1,72
	80	0,75	1,50
	90	0,67	1,34
Adagio	100	0,60	1,20
	110	0,55	1,10
	120	0,50	1,0
	130	0,46	0,92
Andante	140	0,43	0,86
	150	0,40	0,80
	160	0,38	0,76
Allegro	170	0,35	0,70
	180	0,33	0,66
	190	0,32	0,64
Presto	200	0,30	0,60

При озвучивании кинофильма или звуковом оформлении спектакля нередко возникает потребность подчеркнуть акустическую обстановку того или иного места действия (большого зала, городской площадки, горного ущелья и пр.). Для этого при записи речи,

шумов, пения и музыки также используют эффект искусственной реверберации или эха. Следует помнить, что в кинофильме и спектакле этот эффект может нести не только характер внешнего оформления, но использоваться и как средство усиления драматического действия. Известно, например, какое впечатление производит шепот, записанный с большим временем реверберации. Кроме того, на фоне музыки, записанной с реверберацией, наблюдается более четкая разборчивость речи, чем при наложении на музыку, записанную без реверберации. Однако чрезмерное увеличение реверберацией может отразиться на четкости звучания отдельных реплик, монолога или диалога, так как чем больше время реверберации, тем менее разборчивой становится речь.

Создание эффекта реверберации в момент первичной записи речи и шумов не всегда целесообразно. Лучше это сделать при перезаписи, когда можно спокойно подобрать наилучший вариант, не занимая студии и не задерживая исполнителя. Можно использовать искусственную реверберацию и при перезаписи музыкальных фонограмм, но возможности обработки при этом резко ограничены, так как приходится реверберировать звучание всей программы, что далеко не всегда бывает оправданным с художественной точки зрения.

Искусственную реверберацию используют также для исправления дорогих и ценных в художественном отношении записей, сделанных в помещении с недостаточной реверберацией, а также при монтаже концертов, состоящих из произведений, записанных в различной акустической обстановке.

20. Способы получения искусственной реверберации

В настоящее время известно несколько способов получения эффекта искусственной реверберации. В зависимости от способа задержки звука реверберационные устройства можно условно разделить на акустические, электрические и электромеханические.

Акустический способ создания искусственной реверберации состоит в использовании гулкой камеры, т. е. помещения с большим временем реверберации, условно называемого эхо-камерой. Принцип использования эхо-камеры довольно прост. Сигнал, принимаемый микрофоном M_1 (рис. 60), усиливается микрофонным усилителем $МУ_1$ и передается далее через индивидуальный регулятор $РИ_1$ по основному тракту звукозаписи. Одновременно этот же сигнал с выхода усилителя $МУ_1$ подается на вход усилителя мощности $УМ$. Усиленный сигнал воспроизводится одним или несколькими широкополосными громкоговорителями $Гр$, установленными в эхо-камере. Там же размещается микрофон M_2. Этот микрофон должен воспринимать преимущественно отраженные звуковые волны, поэтому его устанавливают так, чтобы на него не попадал прямой звук от громкоговорителя.

После соответствующего усиления микрофонным усилителем $МУ_2$ реверберированный сигнал подается на регулятор уровня $РИ_2$ микшерского пульта и далее в смеситель. С помощью индивидуальных регуляторов $РИ_1$ и $РИ_2$ устанавливают необходимое соотношение уровней прямого и реверберированного сигналов. Сигнал с микрофона эхо-камеры должен подключаться к основному каналу так,

чтобы не возникала обратная связь, т. е. чтобы реверберированный сигнал не попадал на вход усилителя мощности. Для этого в схеме предусматривается разделительное звено *РЗ*, пропускающее сигнал только в прямом направлении.

Строго говоря, для эхо-камеры нельзя применить определение «искусственная реверберация», так как в действительности используется естественная реверберация специального помещения. Такой способ получения естественной реверберации часто используют для улучшения качества искусственной реверберации, получаемой другими способами. В этом случае эхо-камеру применяют совместно с другими системами искусственной реверберации.

Время и характер реверберационного процесса определяются размерами эхо-камеры и звукопоглощением ограничивающих ее поверх-

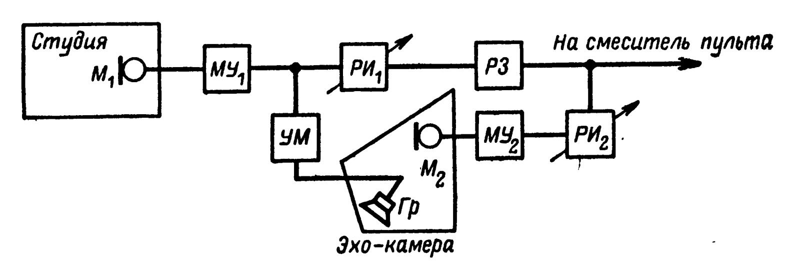


Рис. 60. Блок-схема включения эхо-камеры в тракт звукозаписи.

ностей. Для создания равномерного звукового поля помещение не должно иметь поверхностей, концентрирующих звук, или ниш, способных резонировать лишь на нескольких частотах или в узкой полосе частот. Обычно камера имеет в плане форму неправильного многоугольника, т. е. стены ее расположены непараллельно друг другу, что обеспечивает большое количество беспорядочных многократных отражений звуковых волн.

Эхо-камера, обеспечивающая хорошее качество звучания и длительное время реверберации, должна иметь достаточно большой объем, примерно 150—250 м^3. На практике, однако, по экономическим соображениям используют камеры сравнительно небольшого объема, около 100 м^3, и даже несколько меньше.

В любительских условиях в качестве эхо-камеры можно использовать подвальные помещения, каменные коридоры, вестибюли, переходы и т. п. Стены и потолки таких помещений должны быть бетонными или кирпичными, желательно их оштукатурить или окрасить эмалевой краской. Пол можно забетонировать или покрыть метлахской плиткой. Выбранное помещение должно иметь хорошую звукоизоляцию.

Основной недостаток эхо-камеры заключается в том, что регулировке поддается только соотношение между прямым и реверберированными сигналами при постоянном времени реверберации самой камеры, определяемой ее свойствами. Как указывалось, в реальных условиях звукозаписи этому соответствует эффект различного удаления источника звука от микрофона, т. е. изменение звукового плана. Такая регулировка не всегда соответствует характеру записи, поэтому в специализированных студиях обычно устраивают несколь-

ко камер с различным временем реверберации. Следует добавить, что в эхо-камере нельзя получить эффект эха.

Наибольшее распространение как в профессиональной, так и в любительской записи получили магнитные ревербераторы. Компактные и портативные ревербераторы этого типа применяются в концертах и на эстраде для создания эффектов искусственной реверберации и эха при выступлениях вокалистов, музыкальных ансамблей, при игре на электромузыкальных инструментах и пр.

Принцип действия магнитного ревербератора заключается в следующем (рис. 61). Сигнал, подаваемый на вход устройства через регулятор уровня $РУ_1$, записывается на кольцо магнитной ленты

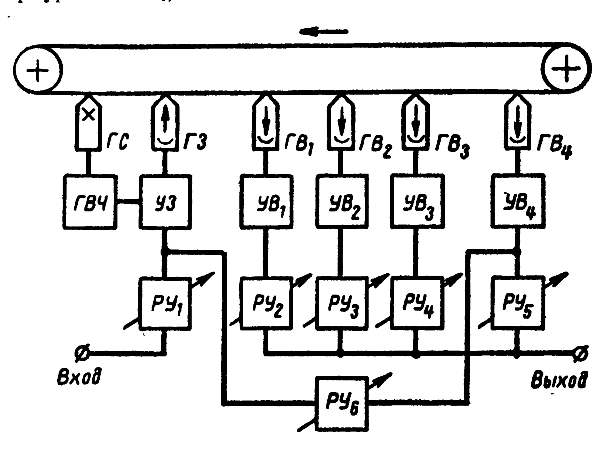


Рис. 61. Обобщенная блок-схема магнитного ревербератора.

и считывается несколькими последовательно расположенными головками воспроизведения *ГВ*. Уровень сигнала в каждом последующем канале воспроизведения должен быть меньше предыдущего. Для этого в каждом канале имеется свой установочный регулятор уровня ($РУ_2$—$РУ_5$). Суммарный реверберирующий сигнал со всех головок воспроизведения поступает на выход ревербератора. Кроме того, сигнал с одной или нескольких головок воспроизведения по цепи обратной связи через регулятор уровня $РУ_6$ снова поступает на вход усилителя записи *УЗ* ревербератора. Сигналы на ленте после прохождения последней головки воспроизведения стираются головкой стирания *ГС*. Количество головок воспроизведения в разных типах ревербераторов может быть различным.

В любительских условиях в качестве ревербератора можно использовать любой магнитофон, имеющий раздельные усилители записи и воспроизведения (МАГ-8М, МЭЗ-28А, МАГ-59, «Тембр» и др.), соединив выход последнего с входом усилителя записи по схеме, как показано на рис. 62. Уровень сигнала в цепи обратной связи такого ревербератора зависит от уровня записываемого сигнала и коэффициента усиления усилителя воспроизведения. Подбор необходимого

уровня осуществляется регулятором громкости этого усилителя и отдельным регулятором глубины реверберации R.

Время (в секундах) запаздывания повторного сигнала, зависящее от скорости движения магнитной ленты v и расстояния между записывающей и воспроизводящей головками l, определяется по формуле $\tau = l/v$. Если учесть, что предельное время запаздывания повторного сигнала не должно превышать 50 мс (время инерционности человеческого слуха), то при стандартных скоростях движения ленты 38,1 и 19,05 см/с расстояние между рабочими зазорами головок должно быть 2,3 и 1,15 см.

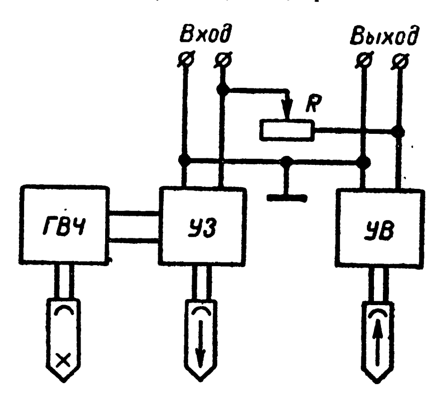


Рис. 62. Схема обратной связи в магнитофоне с раздельными усилителями записи и воспроизведения для получения эффекта реверберации.

В указанных выше магнитофонах расстояния между зазорами головок превышают расчетные, однако и при этих расстояниях можно получить эффект реверберации. Дело в том, что величина предельного запаздывания зависит от вида звучания. Указанное время 50 мс соответствует критическому запаздыванию для речи, произносимой со средней скоростью 6—7 слогов в секунду. Для речи же, произносимой со скоростью 3—5 слогов в секунду, критическое время увеличивается до 80—90 мс. Для музыкальных произведений предельное запаздывание гораздо больше, чем для речи, и может доходить до 150—200 мс (в зависимости от характера и стиля исполняемой музыки). Поэтому используя магнитофоны для получения эффекта реверберации, наилучшие результаты можно получить при исполнении медленной, плавной музыки, протяжной песни и крайне замедленной речи.

В вышеуказанных магнитофонах эффект искусственной реверберации наилучшим образом обеспечивается при большей скорости движения магнитной ленты (38 см/с и выше). При скорости 19 см/с необходимо применять малогабаритные магнитные головки (кольцевые головки имеют слишком большие размеры), а при скорости 9,5 см/с получить удовлетворительный эффект реверберации со стандартными магнитными головками невозможно. При слишком большом расстоянии между головкой записи и головкой воспроизведения, что соответствует большому времени пробега ленты между этими головками на малых скоростях, будет наблюдаться эффект эха.

К достоинствам магнитного ревербератора нужно отнести наличие регулировки времени реверберации с помощью установочных регуляторов уровня. Кроме того, включая какую-то одну из последних головок воспроизведения, можно получить эффект эха с большим или меньшим запаздыванием. Однако магнитные ревербераторы, даже с большим числом головок воспроизведения, имеют ряд существенных недостатков, таких, как повышенный уровень собственных шумов,

заметная амплитудная модуляция отзвука из-за ощутимых разрывов отдельных эхо-сигналов во времени и так называемая тональная окраска отзвуков, которая принципиально неизбежна при использовании для формирования отзвука обратной связи. Как указывалось, магнитный ревербератор нередко включают последовательно с эхо-камерой, что позволяет скомпенсировать недостатки как эхо-камеры, так и самого магнитного ревербератора.

За последние годы в профессиональной звукозаписи широкое распространение получили так называемые листовые, а в любительской пружинные ревербераторы. Принцип действия этих устройств основан на электромеханическом способе получения искусственной реверберации.

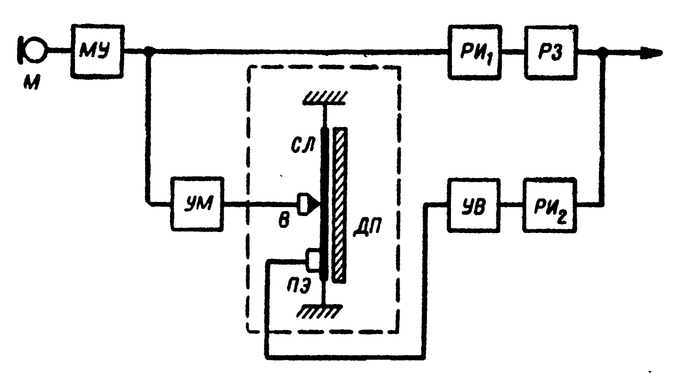


Рис. 63. Схема включения листового ревербератора (*СЛ* — стальной лист, *В* — вибровозбудитель, *ПЭ* — пьезоэлемент, *ДП* — демпфирующая плата из пористого материала).

Листовой ревербератор представляет собой гладкий стальной лист толщиной 0,5 мм и размерами 1×2 м, вертикально укрепленный с помощью пружинных амортизаторов за углы в раме из стальных труб. Рама устанавливается в деревянном коробе со съемными боковыми стенками. Колебания листа возбуждаются электродинамической системой, аналогичной системе в динамических громкоговорителях. Сигнал звуковой частоты с усилителя мощности подается в звуковую катушку вибровозбудителя, каркас которой сварен с листом в центре точечной сваркой. Возбужденные в стальном листе механические колебания воспринимаются пьезоэлектрическим элементом, прикрепленным к листу на некотором расстоянии от возбудителя. Установка необходимого соотношения уровней прямого и реверберированного сигналов осуществляется обычным способом с помощью смесительного устройства. Схема подключения листового ревербератора к тракту звукопередачи показана на рис. 63.

Пружинные ревербераторы дают худшее качество реверберационного сигнала, чем магнитные и листовые ревербераторы, но зато они компактны и конструктивно сравнительно просты. По этим причинам пружинные ревербераторы находят применение главным образом в бытовых звукоусилительных установках (приемниках, радиолах, магнитофонах, усилителях низкой частоты) и в электромузыкальных

инструментах. Задерживающим элементом в этих ревербераторах служит спиральная пружина, которая свободно натянута между двумя опорами. С одной стороны на пружину воздействует возбудитель, преобразующий подведенные электрические сигналы в механические колебания пружины. На другом конце пружины механические колебания с помощью выходного преобразователя (датчика) вновь преобразуются в электрические с задержкой во времени.

В общем случае в пружине могут возникать колебания трех различных видов: продольные, поперечные и крутильные. В промышленных образцах пружинных ревербераторов применяется главным образом система кручения, которая намного устойчивее к сотрясениям. В этом случае на входе ревербератора электрическая энергия

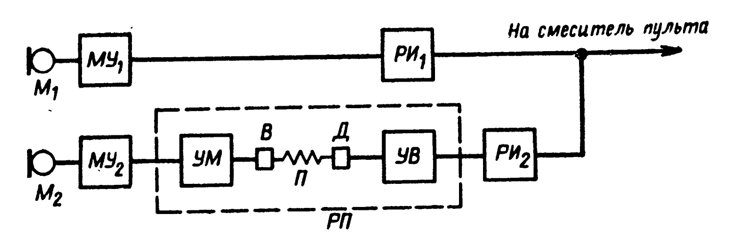


Рис. 64. Схема включения пружинного ревербератора (*В* — возбудитель, *П* — пружина, *Д* — датчик) в тракт звукозаписи.

преобразуется в механическую, а на выходе механическая энергия снова преобразуется в электрическую, но с задержкой во времени, равной времени пробега крутильной волны по пружине. При этом механическая энергия колебаний пружины не сразу полностью преобразуется в электрическую. Когда волна подходит к концу пружины, то часть ее энергии отдается выходному преобразователю, а часть, отражаясь от конца, возвращается к началу пружины, откуда снова отражается еще раз и т. д. Таким образом, в зоне выходного преобразователя создается многократное отражение колебаний с затухающей амплитудой. Так как пружина закреплена свободно, то колебания постепенно затухают в основном из-за потерь в пружине. Процесс затухания колебаний продолжается довольно долго (около 2 с), что и создает на выходе ревербератора последовательность затухающих импульсов от поданного на вход единичного сигнала. Это время затухания механических колебаний и определяет время реверберации пружинного ревербератора. Одна из возможных схем подключения пружинного ревербератора *РП* к тракту звукозаписи показана на рис. 64.

Критерием сравнения искусственно создаваемой реверберации с ее естественным процессом служит характер последовательности эхосигналов в процессе затухания. Из рассмотренных нами различных систем ревербераторов акустические свойства листового ревербератора наиболее близки к естественным условиям процесса затухания звука. Однако сигнал отзвука, создаваемый таким ревербератором, накладывается на основной сигнал с небольшим временем задержки, что заметно отличает сформированный таким образом звук от звучания большого помещения, в котором первое отражение сигнала от

стен доходит до слушателя через некоторый промежуток времени после прихода прямого звука. Поэтому сигнал на листовой ревербератор обычно подают через линию задержки, в качестве которой можно использовать магнитофон с раздельными усилителями и головками записи и воспроизведения. Расстояние между головками записи и воспроизведения, а также скорость движения ленты определяют время задержки.

При использовании такой линии задержки четкость передачи прямого звука меньше маскируется началом реверберационного сигнала, поскольку последний благодаря задержке возникает позже, чем в схеме прямой реверберации.

Следует отметить, что подобная линия задержки может оказаться полезной и при работе с эхо-камерой и пружинным ревербератором. Для этого можно применить магнитофон с несколькими головками воспроизведения. установленными на таком расстоянии от головки записи, при котором возможен выбор времени задержки от 30 до 200 мс. Такое устройство может еще больше расширить границы применения искусственной реверберации при обработке записываемой программы

В тракт звукопередачи реверберационные устройства могут подключаться по различным схемам. На рис. 60 и 63 было показано подключение эхо-камеры и листового ревербератора непосредственно к выходу микрофонного усилителя индивидуального канала параллельно основному тракту звукопередачи. Такая схема применяется в тех случаях, когда необходимо обработать сигнал только одного данного источника. Сигнал с выхода ревербератора можно подать на свободный вход пульта и регулировать уровень реверберационного сигнала соответствующим индивидуальным регулятором. При этом отпадает необходимость в разделительном звене.

Нередко при записи музыкального ансамбля у отдельных исполнителей помимо основного микрофона устанавливают дополнительный микрофон специально для ревербератора. В этом случае на вход ревербератора подают сигнал с микрофонного усилителя дополнительного микрофона. Сигнал с выхода ревербератора после соответствующего усиления и регулирования либо смешивается с прямым сигналом от данного источника, либо сразу же подмешивается к общему суммарному сигналу записываемой программы.

Интересные возможности обработки сигнала открываются при последовательном включении с ревербератором различных устройств. Например, включив последовательно с ревербератором фильтр или частотный корректор, можно изменять окраску сигнала на отдельных участках частотного спектра, а включив сжиматель, получить интересный эффект, заключающийся в изменении самого характера реверберационного сигнала.

ГЛАВА ПЯТАЯ

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗАПИСИ

21. Объективный контроль

Объективный контроль уровня записываемой программы осуществляется звукорежиссером с помощью специальных измерительных приборов, так называемых индикаторов уровня. Индикаторами или указателями такие приборы названы потому, что при измерении уровней быстроменяющихся сигналов не требуется особо высокая точность, как от обычных измерительных приборов, применяемых при измерении стационарных синусоидальных сигналов. Однако показания индикатора не отражают существенных элементов самого качества записываемой музыки, речи и пр. Потому одновременно с объективным контролем по индикатору ведут субъективный контроль, прослушивая программу через контрольный акустический агрегат.

Естественно возникает вопрос, почему контроль уровня и его регулировку нельзя проводить только на слух? Ведь слуховой аппарат является очень чувствительным «прибором» с широким диапазоном восприятия изменения силы звука. Кроме того, ухо является как бы последним звеном («прибором»), оценивающим качество записи. Однако только один слуховой контроль записываемой программы еще недостаточен по следующим причинам. Во-первых, при прослушивании звуковой программы нельзя измерить абсолютную силу звука, так как слуховой аппарат оценивает ее главным образом путем сравнения. Во-вторых, с помощью слуха нельзя объективно оценить громкость звучания программ, записанных в разное время, а также оценить степень сжатия динамического диапазона. Наконец, в-третьих, впечатление громкости у разных людей различно. Следовательно, слуховой аппарат — «прибор» субъективный.

Вследствие указанных причин индикатор является совершенно необходимым прибором для объективной оценки уровней записываемой программы. В процессе записи индикатор позволяет: во-первых, измерить максимальные уровни записи, определяющие в известной мере громкость записи и подлежащие снижению в случае опасного увеличения нелинейных искажений, а во-вторых, измерить минимальные уровни, которые необходимо повышать с целью получения достаточно высокого уровня громкости записи и наилучшего отношения полезного сигнала к шуму. К этому следует добавить, что индикатор позволяет с известной точностью проводить контрольные измерения на синусоидальном напряжении при проверке и настройке тракта звукозаписи и его отдельных звеньев.

При записи речи и музыки амплитуда записываемого сигнала изменяется в широких пределах. Так, например, напряжение на выходе микрофона во время музыкальной передачи может меняться в 10^4 раз, причем изменения уровня сигнала могут быть как плавными, так и скачкообразными, часто в форме коротких импульсов. Для иллюстрации этого на рис. 65 показаны графики изменения уровней сигналов (уровнеграммы) при пении и речи.

Таким образом, приборы для контроля уровня записи должны регистрировать любые сигналы, как длительные, так и короткие. К тому же их показания не должны зависеть от полярности отдельных импульсов напряжения. Поэтому к индикатору уровня предъяв-

ляются определенные требования. Одним из наиболее важных требований является его быстродействие. С этой точки зрения наилучшим мог бы считаться безынерционный прибор (например, электронный осциллограф). Однако при быстрых и непрерывных изменениях уровня отсчет показаний практически был бы невозможен.

Благодаря особому свойству слуха ощущение громкости кратковременного звукового импульса зависит не только от его уровня, но и от продолжительности воздействия импульса на ухо. Так, кратковременный звук, длящийся всего 10—12 мс, воспринимается ухом тише, чем звук такой же по уровню, но воздействующий на слух в течение, например, 150—200 мс. Поэтому при прослушивании передачи громкость является результатом усреднения энергии звуковой волны в течение некоторого интервала времени. Кроме того, слух человека обладает некоторой инерцией и, в частности, при восприятии нелинейных искажений он не ощущает таковых, если продолжительность звукового импульса меньше 10—20 мс.

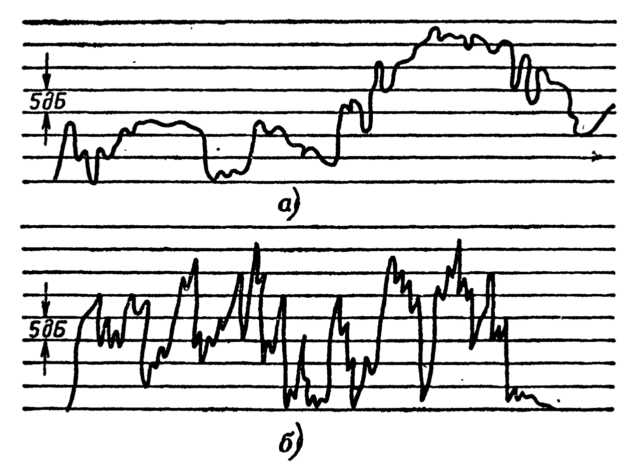


Рис. 65. Уровнеграммы различных программ.

а — пение; *б* — речь.

В соответствии с этим к индикатору предъявляются два противоречивых требования. Во-первых, чтобы не допустить заметных на слух нелинейных искажений, вызванных перемодуляцией, необходимо отмечать довольно короткие сигналы. Во-вторых, в то же время для фиксации результатов измерений прибор должен быть достаточно инерционным. Чтобы выполнить эти требования, в индикаторах осуществляется усреднение мгновенных значений сигнала за промежуток времени, выбираемый в соответствии с временными характеристиками органов слуха.

Введение усреднения в схемы индикаторов существенно упрощает контроль за уровнем, но показания приборов в этом случае уже не соответствуют действительным изменениям уровня и в большей

степени определяются не формой волны сигнала во времени, а величиной введенного усреднения. Это можно проиллюстрировать графиками на рис. 66. Напряжение записываемого сигнала выпрямляют двухполупериодным выпрямителем и усредняют (интегрируют) за больший или меньший промежуток времени. Таким образом, кривые на рис. 66, *в* и *г* являются огибающими мгновенных значений напряжения выпрямленного сигнала, с меньшими или большими подробностями отображающими изменение уровня записываемого сигнала.

Время, за которое усредняется измеряемое напряжение, называется временем интеграции. Оно является основной характеристикой индикатора уровня и существенно влияет на точность его показаний.

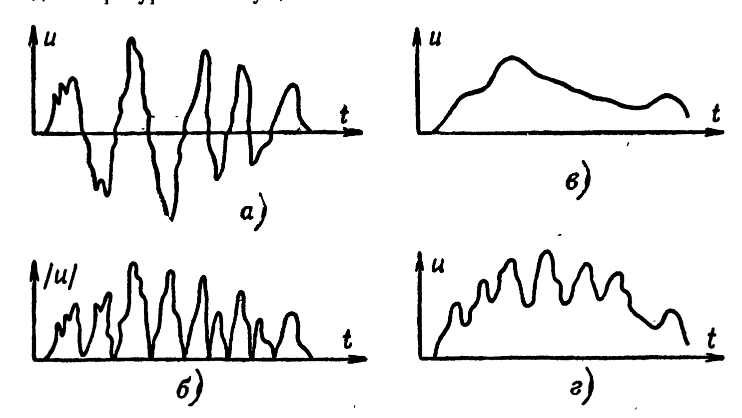


Рис. 66. Графики выпрямления и усреднения сигнала.

а — напряжение записываемого сигнала; *б* — выпрямленное напряжение; *в* — усреднечие за большой период; *г* — усреднение за малый период.

Кроме этого параметра индикаторы уровня различаются между собой другими временными характеристиками: временем срабатывания и временем возврата стрелки. Под временем интеграции понимают длительность одиночного сигнала звуковой частоты, при которой стрелка или световой указатель перемещается из начального положения до отметки на шкале прибора —2 дБ (80% максимального отклонения). Иначе говоря, время интеграции определяет наименьшую длительность сигнала, уровень которого с достаточной точностью можно определить при помощи данного типа индикатора. Временем срабатывания называют время, которое должно пройти после включения напряжения звуковой частоты, поданного на индикатор для того, чтобы стрелка или световой указатель достигли своего стационарного отклонения 0 дБ (или 100%). Временем возврата считают время, необходимое для уменьшения показания прибора от отметки 0 дБ (или 100%) до деления —20 дБ (или 10%) после выключения напряжения звуковой частоты.

Частотная характеристика индикатора дожна быть линейной в диапазоне записываемых частот от 30 до 15000 Гц. Его входное сопротивление должно быть таким, чтобы затухание, вносимое им в канал звукозаписи, не превышало 0,5 дБ (на сопротивлении 600 Ом).

Для этого сопротивление индикатора выбирает в 15—20 раз большим сопротивления того участка схемы, к которому он подключается. Обычно входное сопротивление прибора бывает примерно 10 кОм в указанной выше полосе частот. Чувствительность индикатора по входному напряжению должна быть такой, чтобы можно было измерять не только максимальные уровни записываемого сигнала, но также и малые уровни шумов при контроле и настройке канала звукозаписи. Поэтому часто в схеме индикатора предусматривается включение аттенюаторов, плавно или скачкообразно изменяющих чувствительность прибора.

Индикаторы уровня для высококачественной записи должны обеспечивать наблюдение за сигналами в диапазоне 40—50 дБ. «Размещение» такого диапазона на шкале обычного измерительного прибора невозможно без логарифмирования сигнала. Показания прибора с логарифмической шкалой, отградуированной в децибелах, более точно соответствуют восприятию органами слуха изменения громкости звука. Для этой цели в индикаторах используют различные устройства. Шкала индикатора, отградуированная логарифмически, показана на рис. 67.

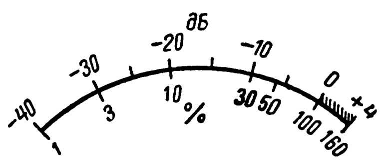


Рис. 67. Шкала индикатора уровня.

В настоящее время в практике звукозаписи находят применение индикаторы, отличающиеся различным временем интеграции. Так называемые индикаторы пиковых значений имеют время интеграции 10—20, а индикаторы средних значений 150—200 мс.

Индикатор пиковых значений хорошо отмечает амплитудное значение импульсов, но показания прибора очень сильно отличаются от действующего значения сигнала. При использовании такого прибора звукорежиссер хорошо регистрирует пиковые перегрузки тракта записи, но не видит действующего уровня сигнала, который может оказаться весьма низким даже при значительных отклонениях стрелки прибора. Кроме того, у индикаторов с малым временем интеграции приходится увеличивать время возврата, так как стрелка такого прибора, реагируя на многочисленные короткие импульсы, часто совершает резкие броски вправо по шкале. Если стрелка столь же быстро будет совершать обратный скачок после исчезновения импульса, то ее движение будет иметь быстрый «мечущийся» характер и фиксировать глазом крайние отклонения стрелки будет очень трудно и утомительно.

Индикатор средних значений дает довольно точное представление о среднем уровне, но не отмечает появление кратковременных импульсов. Это может привести к мгновенным перемодуляциям или даже заметным нелинейным искажениям в случае, если модуляция характеризуется очень быстрыми переходными процессами (например, при записи рояля, клавесина, певческого голоса и т. п.).

22. Типы индикаторов уровня

Существует достаточно много различных типов индикаторов уровня, применяемых в практике звукозаписи.

Простейшим указателем уровня (точнее, указателем его максимально допустимой величины) является индикатор с газосветной

лампой (например, неоновой). Свечение лампы наступает лишь при достижении на ее электродах определенной величины напряжения (напряжение зажигания). Применяется такой индикатор в самых простых, портативных магнитофонах. В бытовых магнитофонах широко распространены индикаторы с электронно-оптическим указателем (лампы 6Е5С, 6Е1П или 6Е3П). Уровень записи в этих приборах определяется по величине затемненного сектора лампы. Нормальный уровень обычно соответствует сокращению затемненного сектора индикатора до 1 мм при самом громком сигнале. В некоторых магнитофонах применяются простейшие миниатюрные стрелочные индикаторы, шкала которых, как правило, не имеет градуировки и содержит лишь отметку 100% уровня. Время интеграции подобных индикаторов обычно находится в пределах 150—350 мс (с номинальным значением 250 мс), а время обратного хода указателя индикатора в пределах 0,5—1,5 с.

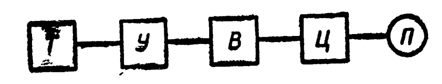


Рис. 68. Структурная схема индикатора уровня типа РИ-58.

Некоторые образцы зарубежных магнитофонов вообще не имеют индикаторов уровня. Объясняется это тем, что такие магнитофоны содержат систему автоматической регулировки уровня записи, обеспечивающую постоянный уровень записи независимо от изменения входного сигнала.

Все эти применяемые в бытовых магнитофонах индикаторы для высококачественной записи непригодны.

В профессиональной звукозаписи для контроля за уровнем применяют встроенные в микшерский пульт индикаторы со световым указателем, а также более простые по конструкции переносные стрелочные приборы. Конструирование последних для опытного радиолюбителя не представляет особой сложности.

В качестве примера рассмотрим устройство индикатора уровня типа РИ-58. Структурная схема этого индикатора показана на рис. 68. Разделительная ступень индикатора, состоящая из входного трансформатора *Тр*, обеспечивающего симметричность входа, и усилителя *У* (ламповый каскад, собранный по схеме катодного повторителя), имеет высокое входное сопротивление (не менее 8 кОм), так что подключение индикатора к каналу передачи не сказывается на уровне сигнала; кроме того, она отделяет цепь выпрямителя *В* (детектора) от основной цепи передачи. В этой же ступени осуществляется регулировка чувствительности прибора от 0,3 до 6 В. Если нет необходимости в симметричном входе и в большой чувствительности, то схема может быть упрощена путем исключения входного трансформатора. Выпрямитель собран по двухполупериодной схеме на полупроводниковых диодах, так как прибор должен отмечать максимальные пики как положительной, так и отрицательной полуволн. Усреднение (интегрирование) сигнала осуществляется в интегрирующей цепочке *Ц* путем быстрого заряда конденсатора выпрямлённым напряжением звуковой частоты и более медленного разряда его через резистор с последующим измерением этого напряжения чувствительным стрелочным прибором-указателем *П*.

На рис. 69 показана эквивалентная схема этого индикатора уровня. Для заряда конденсатора требуется определенное время, которое

зависит от параметров зарядной цепи индикатора. Путем подбора сопротивления резистора R_1 и емкости конденсатора C добиваются получения заданного времени заряда, а следовательно, и времени интеграции индикаторного прибора *И*. Выбрав соответствующее сопротивление резистора R_2, можно получить необходимую величину времени разряда конденсатора через индикаторный прибор и тем самым отрегулировать время возврата его стрелки в исходное положение. Время интеграции прибора 60 мс, время срабатывания 200 мс, а время возврата стрелки 1,3—1,5 с.

Шкала индикаторного прибора (микроамперметр М-24) логарифмическая, отградуирована в децибелах и в процентах. Такая шкала получается при соответствующей форме полюсных наконечников

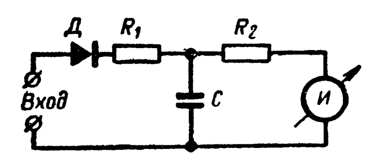
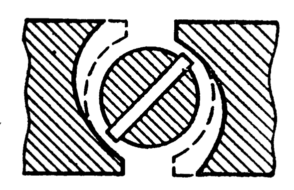


Рис. 69. Эквивалентная схема индикатора уровня.


Рис. 70. Форма полюсных наконечников магнитной системы прибора с логарифмической шкалой.

магнитной системы прибора, как показано на рис. 70. При такой форме наконечников межполюсное расстояние увеличивается по мере отклонения стрелки прибора вправо и чувствительность прибора соответственно понижается к концу шкалы, что позволяет измерить большой диапазон изменения тока. Для сравнения на том же рисунке показана пунктиром форма наконечника обычного прибора с линейной шкалой.

Принципиальная схема индикатора уровня типа РИ-58 приведена на рис. 71. Входной трансформатор *Тр* индикатора собран на пермаллоевом сердечнике Ш-17×30 с окном 4 см^2. Первичная обмотка его содержит 250 витков провода ПЭЛ 0,15, а вторичная 2300 витков ПЭЛ 0,08—0,09.

Схема другого индикатора уровня, доступного для самостоятельного изготовления, показана на рис. 72. Работает этот индикатор следующим образом. Входной сигнал, выпрямленный диодами $Д_5$ и $Д_6$, поступает на базу транзистора T_1. Изменяющееся по величине в зависимости от уровня измеряемого сигнала постоянное напряжение на конденсаторе C_2 преобразуется транзистором T_1 в пропорционально изменяющийся коллекторный ток. Однако сопротивление нелинейной коллекторной нагрузки R_1, R_3, R_6 и $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$,$Д_4$ изменяется логарифмически в зависимости от входного напряжения. Для усиления мощности применен эмиттерный повторитель на транзисторе T_2. Оптимальное сопротивление его нагрузки 2,5 кОм. Начальное смещение на базу первого транзистора задается с помощью транзистора T_3 в диодном его включении. Время интеграции индикатора уровня, зависящее от постоянной времени входной цепочки R_2 C_1, не превышает 50 мс. Время возврата (около 2с) зависит от времени разряда

конденсатора C_2 через резистор R_{10}. Предел измерений от 0,2 до 15 В. В индикаторе можно использовать любые маломощные диоды: кремниевые ($Д_1$—$Д_4$) и германиевые ($Д_5$, $Д_6$). Недостаток этого индикатора уровня состоит в том, что в нем применен входной детектор с удвоением выпрямленного напряжения, а это вызывает погрешности имерений при несимметричном входном сигнале.

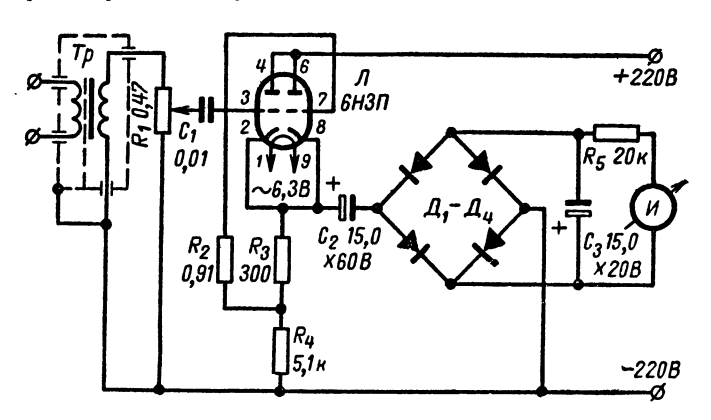


Рис. 71. Принципиальная схема индикатора уровня типа РИ-58.

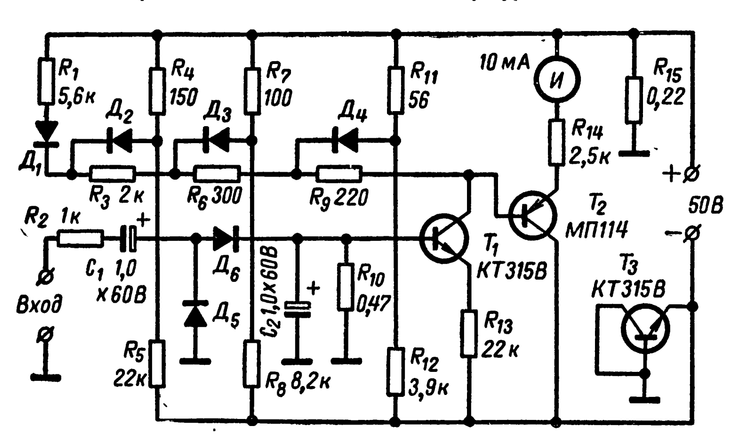


Рис. 72. Принципиальная схема индикатора уровня любительской конструкции.

Наиболее прост по конструкции индикатор уровня типа 83-6, схема которого показана на рис. 73. Он состоит из двухполупериодного детектора и микроамперметра типа М-24. Время интеграции индикатора, составляющее 60—80 мс, определяется инерционностью подвижной системы измерительного прибора *И* и постоянной времени

заряда конденсатора C через сопротивление источника сигнала, а время возврата, равное 1,6 с, временем разряда этого конденсатора через резистор R. Время срабатывания индикаторного прибора 200 мс, диапазон измерений около 24 дБ (от —22 до +2 дБ). Частотная характеристика 300—15 000 Гц, входное сопротивление около 8 кОм. Затухание, вносимое в линию, 0,25 дБ. Следует учесть, что этот индикатор не имеет разделительной ступени, и его детектор, непосредственно подсоединяемый к каналу записи, вносит сравнительно большие нелинейные искажения (около 2%) на линии со сравнительно высоким сопротивлением (600 Ом). При включении же его в низкоомную линию (30—60 Ом) искажения практически отсутствуют.

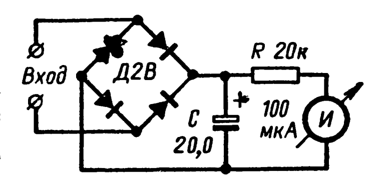


Рис. 73. Принципиальная схема индикатора уровня без усилительного каскада.

23. Измерение и контроль уровня по индикатору

Для измерения и контроля уровня к магнитофону тем или иным способом подсоединяют индикатор и проводят соответствующую настройку тракта записи и воспроизведения. Настройка тракта и практическое измерение уровня в процессе записи существенно зависят от схемных особенностей магнитофона, технологических условий самой записи и, самое главное, от типа применяемого индикатора.

В большинстве бытовых магнитофонов с одним универсальным усилителем сигнал на индикатор снимается с анода лампы последнего (в режиме записи) каскада усилителя. Большим недостатком такой схемы является отсутствие непосредственного контроля с ленты. В магнитофонах с раздельными усилителями записи и воспроизведения индикатор уровня подключается к выходу усилителя воспроизведения.

Калибровку индикатора уровня и установку соответствующего усиления в трактах воспроизведения и записи проводят по следующей схеме. Подключив на выход усилителя воспроизведения вольтметр, воспроизводят установочный сигнал (часть «У») измерительной ленты типа ЛИР. Регулятором усиления усилителя воспроизведения устанавливают напряжение, которое будет соответствовать 100%-ному уровню записи. В общем случае выбранное напряжение может быть любым в пределах области регулирования регулятора. Практически в профессиональной звукозаписи 100% модуляции обычно соответствует 1,55 В (+6 дБ) или 3,1 В (+12 дБ) на выходе усилителя воспроизведения. Затем к выходу усилителя воспроизведения подключают индикатор и регулятором чувствительности прибора устанавливают его стрелку на отметку 0 дБ (100%).

После этого переходят к настройке тракта записи. Подключив к входу магнитофона звуковой генератор, подают на усилитель записи опорный сигнал частоты 400—1000 Гц напряжением, принятым за 100% входного уровня. Записывая этот сигнал на ленте, для которой предварительно подобран соответствующий высокочастотный ток

подмагничивания, регулируют усиление в тракте записи так, чтобы показание индикатора, подключенного к выходу усилителя воспроизведения, соответствовало 100%-ному уровню. В результате такой настройки сквозной канал магнитофона будет откалиброван на соответствующее напряжение, принятое за максимально допустимое.

В конечном счете при записи программ всех видов (речь, музыка, шумы) регулирование уровня на микшерском пульте производится так, чтобы наибольшие показания индикатора (любого типа) не превышали 0 дБ (100%). Минимальные же показания индикатора должны составлять (исключая паузы и концы музыкальных фраз) — 25 дБ для музыкальных записей,—14 дБ для речевых художественных записей, —10 дВ для речевых документальных записей и при записи шумов. Уменьшение уровня границы этих значений допускается, если «провалы» звучности продолжаются не более 3 с. Однако в зависимости от времени характеристик индикаторов показания последних при записи одной и той же программы будут различны.

Таблица 7

Записываемая программа	Длительность звучания, с	Показание индикатора с временем интеграции, мс		
		10	60	200
Частота 400 Гц	—	0	0	0
Речь (мужской голос)	3	+6,2	+2,9	—1,0
Речь (женский голос)	3	+6,25	+0,5	—2,5
Барабан с литаврами	2	+4,5	+0,5	—2,0
Рояль (отрывок из концерта)	2	+1,0	—1,0	—3,25
Баян	2	+1,3	—2,5	—4,5
Пение (баритон)	—	+2,43	+1,0	—0,5
Пение (сопрано)	2	+1,25	—0,37	—1,2
Хор	2	0	—3,0	—4,5
Симфонический оркестр, (доминируют струнные смычковые)	2	—0,63	—3,25	—5,8
Симфонический оркестр (доминируют медные духовые)	5	+3,75	—0,37	—5,8
Марш (духовой оркестр)	3	+4,25	+1,0	—2,8
Аплодисменты	3	—5,0	—8,7	—9,0

В табл. 7 приведены показания индикаторов уровня с различным временем интеграции в зависимости от рода контролируемой программы. Как видно из этой таблицы, уменьшение показания величины уровня сигнала по сравнению с пиковым индикатором тем выше, чем больше время интеграции прибора. Поэтому при использовании индикаторов с временем интеграции более 10—20 мс в их показания вносят соответствующие поправки.

На рис. 74 представлены временные характеристики индикаторов уровня с различным временем интеграции. По оси абсцисс в

соответствующем масштабе отложены продолжительности тональных импульсов *T* (в миллисекундах), а по оси ординат максимальные отклонения *M* (в процентах) стрелки прибора. Если обратиться к временной характеристике прибора с временем интеграции 60 мс, то можно видеть, что импульс длительностью 10 мс отклоняет стрелку прибора лишь на 40% шкалы. По сравнению с импульсами в 60 мс (отклонение 80%) «недопоказ» истинной величины 10 мс импульса составит ровно половину, т. е. 6 дВ.

В зависимости от количества и величины коротких импульсов в записываемой программе поправки, которые приходится делать к показаниям прибора, могут колебаться от 3 до 6 дБ. В речевых

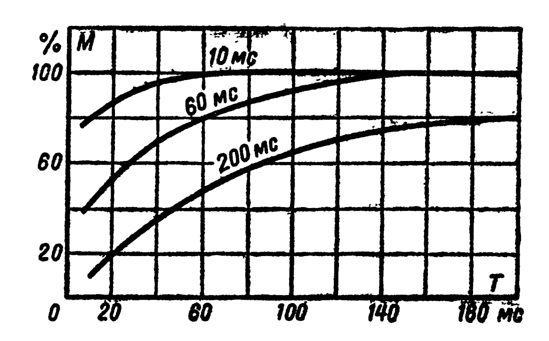


Рис. 74. Временные характеристики индикаторов уровня с различным временем интеграции.

передачах, где количество коротких импульсов велико, «недопоказ» прибора на пиках составляет 6 дБ. При передаче музыкальных программ следует считать, что, как правило, существующие, но не всегда видимые максимальные пики превышают показания прибора всего на 3 дБ.

С учетом сказанного желательно для индикатора с временем интеграции 60 мс провести соответствующую калибровку. Например, если максимальный выходной уровень должен быть равен 3,1 В, то ручку регулятора чувствительности прибора следует установить так, чтобы отметка на шкале 0 дБ (100%) соответствовала напряжению 2,2 В, т. е. на 3 дБ меньше, чем 3,1 В (речь идет о синусоидальном сигнале частоты 400 Гц). При такой калибровке уровень музыкальных передач, видимый по прибору, не должен превышать 100% (0 дБ), а при речевой программе 70% (3 дБ). И в том и в другом случае уровень пиковых сигналов будет соответствовать 3,1 В.

Так как во время записи невозможно без значительного снижения среднего уровня записи удержать максимальный уровень таким, чтобы стрелка индикатора не переходила за деление 0 дБ, то допускаются отдельные выбросы стрелки до +3 дБ, но не более двух-трех раз в минуту.

24. Субъективный контроль

Как уже указывалось, окончательную оценку качества звучания записи можно дать лишь на основании ее прослушивания. Качество записи контролируется двояко. Во-первых, анализируется звуковое действие, непосредственно исполняемое перед микрофоном. Во-вторых, определяется, насколько верно оно воспроизводится с фонограммы после записи. В последнем случае оценка качества записи в большой мере зависит от устройств и условий контрольного прослушивания.

Для слухового контроля применяют специальный контрольный громкоговоритель (агрегат). В состав такого агрегата кроме громкоговорителей входят мощный усилитель низкой частоты с регулятором громкости, блок питания и разделительные фильтры. Значение контрольного агрегата в процессе звукозаписи чрезвычайно велико. Его электроакустические характеристики в основном определяются параметрами громкоговорителей, но важную роль играют и характеристики усилителя. На качество воспроизведения звука влияют также конструкция, материал, объем акустического ящика, размеры отражательного экрана, внутренняя обработка ящика и многое другое.

В популярной научно-технической литературе можно найти подробное описание различных по конструкции акустических устройств и схемных решений высококачественных усилителей низкой частоты. Поэтому остановимся лишь на тех особенностях звуковоспроизводящей аппаратуры, которые присущи именно контрольным устройствам.

Контрольный акустический агрегат для высококачественной записи должен передавать диапазон частот от 30—40 Гц до 15—16 кГц с неравномерностью, не превышающей 2—3 дБ. Воспроизведение такого диапазона частот связано со значительными трудностями и нередко вызывает необходимость разделения его на части (полосы) с тем, чтобы в каждой полосе работал отдельный громкоговоритель или группа громкоговорителей. Необходимость применения в контрольных устройствах двухполосных или даже трехполосных систем воспроизведения звука связана также с так называемыми интермодуляционными искажениями, возникающими в однополосных системах. Особенно сильно такие искажения проявляются в широкополосных диффузорных громкоговорителях при одновременной передаче сигналов двух и более частот, из которых одна значительно выше другой. Возникающие в этом случае перегрузки громкоговорителя сигналами низшей частоты приводят к искажениям сигналов высших частот.

Обычно частотный диапазон делят на две полосы: нижнечастотную и верхнечастотную. В нижнечастотной полосе работают большие и мощные диффузорные громкоговорители, имеющие возможно более низкую частоту основного резонанса (чаще всего берется один такой громкоговоритель, реже два). В верхнечастотной полосе наряду с небольшими диффузорными иногда применяют рупорные громкоговорители. Диффузорных громкоговорителей может быть четыре, шесть и более, а рупорного громкоговорителя достаточно одного. Это обусловливается необходимостью получения достаточно широкой характеристики направленности, которая достигается или несколькими диффузорными громкоговорителями, устанавливаемыми под углом друг к другу, или с помощью одного рупорного гром-

коговорителя. В трехполосных системах в среднечастотной полосе применяют от одного до трех диффузорных громкоговорителей среднего размера с более высокой частотой основного резонанса, чем у нижнечастотного громкоговорителя.

Условное разделение рабочего диапазона частот на две и три полосы показано на рис. 75. В двухполосных системах частоту разделения $f_р$ выбирают в пределах 600—800 Гц. В трехполосных системах вторая частота разделения $f_{р2}$ обычно лежит в пределах 4—5 кГц. Выбирать частоту разделения в области от 1 до 4 кГц не рекомендуется, так как это область наибольшей чувствительности слуха, а на частоте разделения, как это видно из рисунка, всегда возможно некоторое затухание (от 3 дБ и более), которое может оказаться заметным на слух.

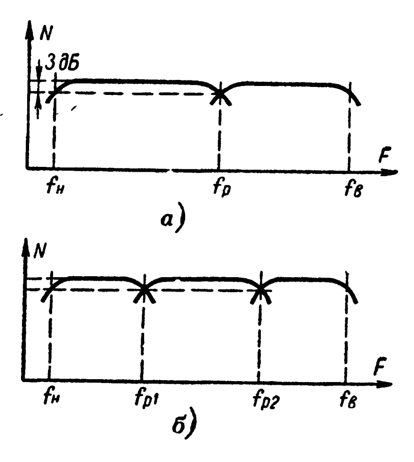


Рис. 75. Условное разделение воспроизводимой полосы частот.

а — при двухполосной; *б* — при трехполосной акустической системе.

Схемы различных по сложности разделительных фильтров, применяемых в двухполосных системах, можно найти в соответствующей литературе. Упомянем лишь, что применение разделительных фильтров, обладающих крутым спадом амплитудно-частотной характеристики за границами частот разделения и вносящих тем самым большее затухание в области совместной работы соседних частотных групп громкоговорителей, позволяет значительно ослабить интерференционные явления и улучшить работу всей системы*. Непременным условием высококачественной работы контрольного агрегата является также правильное фазирование всех громкоговорителей.

К качественным показателям усилителя, считая, что его выходная мощность соответствует применяемым громкоговорителям, относятся амплитудно-частотная характеристика, коэффициент нелинейных и комбинационных искажений, а также уровень фона и шумов.

Мощность усилителя должна обеспечивать воспроизведение без перегрузок записи пиковых уровней наиболее громких источников звука, к которым относится, в частности, оркестр. Желательно, чтобы усилитель обладал некоторым запасом мощности, что благоприятствует повышению качества звучания контрольного агрегата. По этой причине мощность усилителя обычно выбирается в пределах 10—20, а нередко и до 40—50 Вт.

---

* Интерференционные явления, наблюдаемые при совместной работе нескольких громкоговорителей, приводят к значительной неравномерности амплитудно-частотной характеристики, особенно в области средних и высших частот.

Частотная характеристика усилителя, определяющая полосу усиливаемых им частот, естественно, не должна быть уже диапазона частот, воспроизводимых акустической системой контрольного агрегата. Желательно даже, чтобы этот диапазон был перекрыт, что довольно легко сделать, применяя современные транзисторные схемы усилителей. Неравномерность частотной характеристики усилителя не должна быть более 2 дБ в рабочей полосе частот.

Нелинейные искажения проявляются в дребезжании и хрипе при наибольших, но еще допустимых уровнях звучания. Следует напомнить, что эти искажения могут создаваться как в выходном каскаде усилителя, так и в громкоговорителях, причем искажения обычно увеличиваются с возрастанием громкости. Коэффициент нелинейных искажений должен быть не более 0,3%.

Уровень фона и шумов относительно уровня номинального сигнала в усилителе должен быть в пределах от —70 до —80 дБ. Грубой мерой оценки достаточно низкого уровня фона и шумов можно считать такое рабочее состояние контрольного агрегата, когда фон и шум при среднем положении регулятора громкости не прослушиваются на расстоянии 1—2 м от громкоговорителей агрегата.

Следует напомнить, что в усилителе контрольного агрегата регулятор тембра обычно отсутствует. Частотная характеристика усилителя и частотная характеристика акустической системы должны быть достаточно прямолинейны во всем рабочем диапазоне частот. Если же в качестве контрольного агрегата используют звуковоспроизводящую установку с регуляторами тембра, то ручки регуляторов высших и низших частот должны быть зафиксированы в таком положении, при котором обеспечивается наибольшая равномерность суммарной частотной характеристики. Если этого не сделать, то впечатление от соотношения различных частотных компонентов в прослушиваемой программе может существенно отличаться от истинного.

Усилитель надо устанавливать в изолированном от общего объема контрольного агрегата отсеке так, чтобы исключить воздействие на него высоких акустических уровней (в ламповых усилителях такое воздействие может привести к микрофонному эффекту). Конструкция корпуса контрольного агрегата должна соответствовать требованиям прямолинейной частотной характеристики всего устройства, и сам корпус не должен вносить заметных на слух искажений из-за резонансов отдельных его элементов. По этой причине устройства вроде фазоинвертора, широко используемого в любительских акустических устройствах для повышения отдачи на низших частотах, в профессиональных контрольных агрегатах не применяются.

Значительное влияние на излучение высших частот оказывают всякого рода облицовочные и декоративные элементы, такие, как шелк, решетки, жалюзи и т. д. Так, например, слишком плотный шелк или густая решетка (сетка) могут внести затухание и ослабить излучение высших частот. Кроме того, решетки и жалюзи могут иногда вызывать резонансные явления, и тогда на частотной характеристике появляются дополнительные пики и провалы. Поэтому наружное оформление следует применять весьма осторожно и не вводить в него излишних усложнений.

На субъективную оценку качества записи существенное влияние оказывают акустические особенности помещения прослушивания, та-

кие, как форма самого помещения, объем и степень его заглушенности, т. е. время собственной реверберации помещения. Последнее зависит как от общей площади ограждающих поверхностей, так и от их звукопоглощающей способности, а также от аппаратуры, мебели и прочих предметов, находящихся в помещении. Как уже указывалось, шторы, ковры, мягкая мебель и т. п. обладают высокой звукопоглощающей способностью, тогда как окна, гладкие стены, пол и аппаратура записи (магнитофоны, микшерский пульт и прочее оборудование) в значительной мере звук отражают.

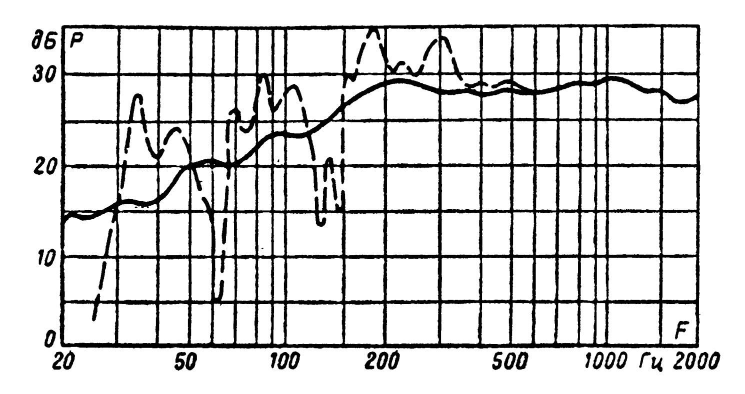


Рис. 76. Сопоставление частотных характеристик громкоговорителей, снятых в незаглушенном (штриховая) и заглушенном (сплошная) помещениях.

Любое помещение представляет собой достаточно сложную акустическую систему, обладающую целым рядом собственных резонансных частот. Чем больше помещение, тем оно лучше для контрольного прослушивания, так как резонансные частоты с увеличением размеров понижаются и оказываются за пределами слышимости. Кроме того, в больших помещениях плотность спектра собственных колебаний (начиная примерно с частоты 150—200 Гц) настолько велика, что явление резонанса становится малозаметным. Поэтому для аппаратной выбирают помещение площадью не менее 20—25 м^2.

Наряду с собственными колебаниями в помещении могут образовываться так называемые стоячие волны, являющиеся результатом сложения прямых звуковых волн от источника звука (контрольного агрегата) с волнами, отраженными от стен или других поверхностей. Стоячие волны в помещении сильно нарушают равномерность звукового поля, так как появляются места с максимальным и минимальным звуковым давлением (узлы и пучности), а это не может не влиять на условия контрольного прослушивания. Лучшим средством, улучшающим прослушивание, служит наличие в помещении поглотителей, уменьшающих отражение звука. Время реверберации в помещении прослушивания обычно выбирают в пределах 0,4—0,6 с.

Чтобы наглядно представить себе влияние заглушенности помещения на характер работы громкоговорителя, на рис. 76 приведены характеристики звукового давления последнего, измеренные в помещениях с различным звукопоглощением. Как видно из этого рисунка, в незаглушенном помещении на частотах ниже 400 Гц характеристика (штриховая) весьма неравномерна, тогда как в помещении, где все ограждающие поверхности обладают высокой степенью звукопоглощения, характеристика (сплошная) выравнивается.

Для правильной оценки качества записи имеет значение и местоположение контрольного агрегата. Дело в том, что не только субъективное прослушивание, но и объективные измерения одного и того же громкоговорителя в одном и том же помещении, но расположенного в разных местах, дают большую разницу в воспроизведении различных частот. На рис. 77 показаны частотные характеристики громкоговорителя, измеренные в области самых низких частот, при размещении его у стены (штриховая характеристика) и в углу (сплошная характеристика) помещения. На этом рисунке видно, что уровень звукового давления, развиваемого громкоговорителем при размещении его в углу помещения, повышает излучение низших частот приблизительно на 4 дБ. Для высших частот при условии достаточной заглушенности помещения местоположение контрольного агрегата менее критично. Таким образом, для повышения линейности частотной характеристики звукового давления громкоговорителей контрольный агрегат лучше всего размещать посредине помещения у стены симметрично по отношению к боковым поверхностям, причем желательно, чтобы ближайшие к агрегату стены имели однородные поверхности.

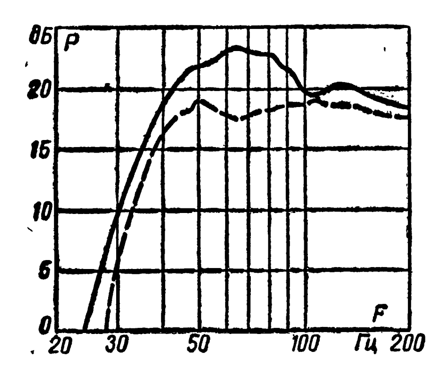


Рис. 77. Зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем на самых низких частотах, от места его расположения (у стены — штриховая, в углу — сплошная).

Кроме местоположения контрольного агрегата имеет значение и расстояние, на котором его устанавливают относительно рабочего места звукорежиссера. Это расстояние, имея в виду допустимый уровень затухания самых высоких звуковых частот, обычно выбирают не более четырех метров при условии, что высокочастотное звено агрегата находится на уровне головы сидящего за пультом звукорежиссера. Минимальное расстояние не должно быть меньше 2,5—3 м, так как оптимальный уровень громкости воспроизведения при контрольном прослушивании сравнительно высок (80—85 дБ). Прослушивание записанной программы с меньшим уровнем может привести к кажущемуся изменению между ее частотными составляющими, что объясняется различной чувствительностью человеческо-

го уха к частотам звукового диапазона. Например, нормально записанная музыкальная программа при прослушивании с уровнем 30—40 дБ из-за плохой слышимости низших и высших частот будет казаться лишенной сочности звучания.

Следует учесть, что прослушивание записываемой программы с уровнем, превышающим 90 дБ, может также послужить причиной искажения тембра сигнала. При больших перегрузках диффузор громкоговорителя подвергается значительным деформациям, в результате чего в спектре воспроизводимого сигнала появляются новые частоты и одновременно изменяется соотношение гармонических составляющих основного сигнала. Кроме того, при больших громкостях в органах слуха возникают так называемые «субъективные» обертоны, что также приводит к искажению тембра сигнала.

Таким образом, как при малом, так и при большом уровнях прослушивания естественной реакцией контролирующего будет проведение частотного корректирования, а это в свою очередь исказит естественный тембр звучания по сравнению с прослушиванием при нормальной громкости. Поэтому желательно, чтобы регулятор громкости усилителя имел ступенчатую регулировку. Это позволит всегда точно придерживаться одного уровня прослушивания.

В любительской практике звукозаписи необходимые условия для контрольного прослушивания создать довольно сложно из-за различных акустических условий в помещении, нетиповых контрольных агрегатов, различного их размещения и т. п. Поэтому на первых порах, пока не выработаны необходимые поправки к оценке звучания программы, следует четко представлять относительность своих суждений о качестве записываемой программы.

И наконец, следует учитывать также, что длительные контрольные прослушивания — весьма утомительный процесс, требующий большого внимания и слухового напряжения. Отсутствие чередования слуховых и зрительных впечатлений в процессе звукового контроля делает нагрузку соответствующих нервных центров весьма интенсивной, поэтому продолжительные записи необходимо проводить с перерывами.

25. Оценка технического качества записи

Оценка технического качества записи предусматривает проверку уровня шумов и искажений, вносимых отдельными звеньями тракта звукозаписи. В некоторых звеньях тракта, даже хорошо отрегулированных, во время записи могут возникать различные помехи, которые звукорежиссер должен уловить на слух, чтобы избежать снижения качества записываемой программы.

К разряду помех относят акустические шумы, собственные шумы усилителей, электрические наводки и фон, электрические трески, щелчки, шумы магнитной ленты, детонацию. Понятно, что правильная оценка степени влияния помех на общее качество записываемой программы и своевременное предупреждение их появления имеет первостепенное значение.

Акустические помехи могут быть вызваны как посторонними шумами, проникающими в помещение записи в результате несовершенства звукоизоляции, так и шумами, создаваемыми самими исполнителями (шелест переворачиваемых нотных страниц, скрип мебели, паркета или подставок для хора, шум зрительного зала при

записи концерта и др.). Подобные акустические шумы при прослушивании через электроакустический тракт воспринимаются отчетливее и оказывают значительно большее мешающее действие, чем непосредственно в самом помещении записи.

Кроме того, на качество записи оказывают влияние шумы, связанные с особенностями звукоизвлечения при игре на некоторых музыкальных инструментах. Разумеется, от стука педалей, клавиатуры, клапанов, шипения воздуха при игре на деревянных духовых инструментах и от других подобных шумов избавиться невозможно. Однако существует ряд мер, которые значительно ослабляют эти помехи. Следует помнить, например, что неправильно установленный высокочувствительный микрофон или подъем коррекции по высоким частотам подчеркивают эти помехи настолько, что они маскируют звучание самого инструмента или ощутимо мешают правильному его восприятию.

Акустические шумы всегда сопутствуют звукозаписи и могут быть допустимы, пока не сказываются на художественном восприятии записи.

Чтобы выявить при прослушивании частотные искажения, необходимо на слух оценить общее состояние частотной характеристики тракта, ее диапазон и равномерность, подъем и завал крайних частот, а также различного рода резонансы. Субъективно эти искажения могут, в частности, восприниматься как недостаток высших частот. Запись при этом лишается «прозрачности», делается глухой, тусклой, речь становится невнятной. При «завале» низших частот в звучании отдельных инструментов ослабляются низкие регистры и оркестр лишается богатства оттенков, а речь становится «плоской», голос теряет свою бархатистость. При излишке низших частот звук становится глухим, даже если высшие частоты и не «завалены».

Надо отметить, что частотные искажения нередко возникают и в виде так называемых пиков и провалов в частотной характеристике отдельных звеньев тракта. Наиболее нежелательны такие искажения в области максимальной чувствительности уха, т. е. в диапазоне частот 800—5000 Гц.

При нелинейных искажениях (искажения формы звуковых колебаний) голоса звучат надтреснуто, хрипло, а музыка дребезжит, звук теряет естественность тембральной окраски. Такие искажения могут вызываться повышенным коэффициентом нелинейных искажений в отдельных звеньях тракта или же чрезмерно большими уровнями сигнала, подаваемого на вход магнитофона.

Электрические помехи возникают, как правило, в самом тракте звукозаписи. Наиболее распространенной помехой является повышенный уровень собственных шумов в усилительных элементах (лампах или транзисторах) усилителей пульта или магнитофона, особенно в первых каскадах. Воспринимается такой шум как ровное неприятное шипение. Следует заметить, что если источником повышенного шума является усилитель воспроизведения магнитофона, что бывает чаще всего, или усилитель контрольного агрегата, то это, конечно, не отражается на качестве самой записи. Тем не менее этот шум существенно затрудняет контрольное прослушивание записываемой программы.

Не менее неприятен и фон переменного тока, возникающий при повреждениях в блоках питания, например при изменении параметров фильтра или стабилизатора. Фон переменного тока может быть

вызван и неисправностью развязывающих цепочек в отдельных блоках звукозаписывающей аппаратуры, а также дефектами системы заземления. Особенно часто проявляется фон с частотами, кратными частоте питающей сети (50, 100, 150, 300, 600 Гц). Наиболее заметен на слух фон с частотой 50, 100 и 150 Гц. И это не случайно. Ведь в области частот ниже 150 Гц энергия полезного сигнала весьма мала, в то время как в области средних частот сосредоточена основная часть энергии полезного сигнала. Поэтому помехи в виде фона с частотами 300 или 600 Гц в значительной степени «маскируются» полезным сигналом, и естественно, получаются менее заметными, чем помехи (фон) более низкой частоты. Своевременно выявить повышенный уровень шума и фона позволяет регулярное проведение профилактических измерений. Замеченное в процессе таких измерений ухудшение параметров позволяет принять незамедлительные меры к отысканию и устранению неисправностей.

Особо следует остановиться на помехах, появляющихся в тракте записи при полной исправности последнего. Причиной их являются наводки, создаваемые сильными электромагнитными полями внешних источников. Обнаружить эти источники и найти способы защиты от создаваемых ими помех очень трудно, а в ряде случаев и невозможно. В тракт записи такие помехи могут проникать по контуру заземления и цепям питания силовой части тракта. Воздействуя на эти цепи, источники помех проявляются в виде щелчков и тресков в момент их включения и выключения, а также в виде непрерывного «зуда» во время их работы. Это, наконец, индуктивные наводки, происходящие от воздействия сильных электромагнитных полей на чувствительные входы усилителей тракта записи (чаще всего микрофонных усилителей пультов и усилителей воспроизведения магнитофонов.) К таким источникам относятся близко расположенные мощные радиостанции, рентгеновские установки, а также линии городской радиотрансляционной сети.

В процессе записи иногда наблюдается появление сильных помех в виде щелчков и тресков электрического характера. Причины таких помех могут быть самые различные. Чаще всего щелчки происходят при переключении или срабатывании элементов коммутации пульта или магнитофона, таких, как кнопки, ключи, реле, переключатели, контакты регулятора уровня и др. Кроме того, трески, появляющиеся в процессе микширования, говорят о нарушении контактов или износе пластин регулирующего элемента. Чтобы уменьшить вероятность щелчков и тресков, не рекомендуется работать с переключающими элементами во время записи. Установку коррекции лучше производить во время микрофонной репетиции или пробной записи.

Бывают случаи появления помех в тракте записи из-за накопления статических зарядов. Эти заряды возникают, как правило, на деталях, подвергающихся трению в процессе работы. Такой статический заряд образуется, например, на магнитной головке от трения магнитной ленты. Недостаточно хорошее качество заземления экрана головки приводит к тому, что между корпусом головки (или экрана) и корпусом магнитофона создается разность потенциалов. По достижении определенной величины, достаточной для пробоя пространства между изолированными заряженными деталями и корпусом, происходит пробой этого пространства электрической искрой, сопровождающийся характерным треском. Следует помнить, что образованию статических зарядов способствует чрезмерно сухой воздух. По-

этому желательно поддерживать в аппаратной необходимую влажность воздуха.

Помехи, создаваемые магнитной лентой, можно разделить на шумы в отсутствие рабочего сигнала (шумы паузы) и шумы при его наличии (модуляционные шумы). Шум паузы присущ всем типам магнитной ленты и зависит от однородности структуры, равномерности полива и качества шлифовки ее магнитного слоя. Ленты с шероховатой рабочей поверхностью создают большие шумы, чем полированные. Такой шум воспринимается ухом как ровное шипение, слышимое при воспроизведении даже ненамагниченной ленты, т. е. при отсутствии на ней записанного сигнала. Шумы отдельных партий магнитной ленты могут достигать довольно большой величины. Это вызывает необходимость предварительного отбора ленты. Желательно всю запись проводить, используя ленту с одним поливом, подбирая ее согласно маркировке на рабочей стороне ленты.

Модуляционный шум возникает только в процессе записи и воспроизведения, т. е. когда на ленте есть запись (в паузах между записью этот шум не прослушивается). Появление модуляционного шума можно объяснить несколькими причинами, в том числе неоднородностью структуры рабочего слоя ленты, периодически изменяющимся контактом между лентой и магнитными головками магнитофона (так называемая амплитудная модуляция), продольными колебаниями магнитной ленты (частотная модуляция). Такой шум вызывает помехи в виде характерного призвука, сопровождающего каждое сколько-нибудь значительное изменение уровня записываемого сигнала. Призвук этот имеет характер «ореола», окружающего основной звук.

Субъективно модуляционный шум гораздо менее заметен, чем шум паузы, поскольку он сильно маскируется сигналом, причем шум амплитудной модуляции растет вместе с амплитудой сигнала. Чем меньше скорость ленты, тем маскировка сильнее. Большая величина модуляционного шума придает звучанию записи неприятный характер. Это особенно сказывается на записях сольного пения, инструментальной музыки, а также одиночных, бедных обертонами инструментов или высокого певческого голоса. При записях речи и музыкальных ансамблей такой шум заметен значительно меньше.

Модуляционный шум может быть уменьшен установкой антишумового ролика между записывающей и воспроизводящей головками. Его назначение — стабилизировать движение магнитной ленты и уменьшить ее продольные колебания. Ролик должен легко вращаться, и угол его охвата лентой выбирается минимальным.

Следует указать еще на одну возможную причину появления помех, связанную с магнитной лентой. При попытке сделать запись на ранее использованной ленте иногда под действием подмагничивания наблюдается восстановление старой записи, хорошо слышимой в паузах новой. Степень восстановления зависит от времени хранения магнитофильма и свойств порошка рабочего слоя ленты. Уровень восстановленной записи зависит также от типа ленты. У ленты типа 2, например, он может достигать в некоторых случаях 25 дБ. Степень восстановления зависит также от направления движения ленты. Если лента при восстановлении движется в том же направлении, что и ранее при записи, то восстановление выражено более резко, чем в случае, когда лента движется в противоположном направлении. Разница в степени восстановления при этом может достигать 10 дБ.

Скорость протягивания магнитной ленты в магнитофоне, даже хорошо отлаженном, непостоянна и колеблется в некоторых пределах относительно своего номинального значения. Колебание скорости фонограммы вызывает изменение частоты записываемого сигнала, т. е. последний модулируется с частотой изменения скорости. Превышение определенной нормы таких колебаний ленты приводит к слышимым искажениям, называемым детонацией. При медленных изменениях частоты записываемого сигнала, когда частота изменения скорости магнитной ленты находится в пределах примерно 1—10 Гц, характер искажений определяется как «плавание звука» (детонация первого рода). Оно возникает обычно из-за плохой регулировки лентопротяжного механизма. Для того чтобы дать заключение о причине этой помехи, нужно прослушать на магнитофоне запись, заведомо лишенную указанного дефекта. Детонация с частотой выше 10 Гц (детонация второго рода) вызывает тремолирующий, вибрирующий звуковой эффект. Увеличение частоты изменения скорости магнитной ленты субъективно не ощущается уже как изменение высоты тона и вносит хриплость и жесткость в звучание. Такая детонация (дробление звука) происходит чаще всего из-за биения ведущего вала магнитофона.

Рассмотренные нами шумы и искажения не исчерпывают всех возможных технических дефектов звукозаписи. При контрольном прослушивании звукорежиссер, разумеется, не оценивает запись в порядке очередности по видам искажений. Из всего комплекса слуховых ощущений он должен определить появление любых искажений, быстро оценить степень их опасности и принять решение — остановить запись или продолжать ее.

26. Оценка художественно-технического качества записи

Определение художественно-технического качества записи сводится к оценке следующих параметров: пространственности, прозрачности, музыкального баланса и тембра записываемой программы.

Важным качеством музыкальных записей является ощущение звуковой перспективы, т. е. правильного пространственного впечатления о распределении различных групп исполнителей. Правильно построенная пространственная звуковая картина в некоторой степени воссоздает объемность звучания, которая, как известно, отсутствует при монофонической записи. При оценке пространственности учитывают акустическую обстановку записи — соответствие размеров помещения количеству исполнителей и характеру записываемого произведения, а также характер реверберации (оптимальная, повышенная или недостаточная) и акустический баланс (акустическое отношение).

Как уже упоминалось, акустический баланс — это субъективная, а также и объективная мера отношения энергии отраженного звука к прямому. При записи акустический баланс для каждой группы исполнителей должен быть таким, каким он соответствовал бы ощущению слушателя, находящегося в концертном зале. Например, если при записи музыкального ансамбля пространственное впечатление не соответствует привычной рассадке исполнителей, ощущается нарушение привычной звуковой перспективы, то в первую очередь это обусловлено неправильным выбором акустического баланса для

каждой группы исполнителей, т. е. неудачной расстановкой микрофонов.

Недостатком при создании нужного пространственного впечатления следует считать появление так называемой «многопространственности», о которой говорилось выше. Причиной «многопространственного» звучания может быть неудачное расположение микрофонов, а также неумеренное и неумелое использование искусственной реверберации. Это можно проиллюстрировать таким примером, когда, допустим, струнная смычковая группа оркестра звучит «воздушно», с достаточно хорошим пространственным впечатлением, а деревянные духовые инструменты, хотя и звучат с хорошо найденным пространственным впечатлением, но слышны ближе струнных.

Термин «прозрачность» определяется как раздельное восприятие каждой группы оркестра, ясность музыкальной фактуры *, разборчивость словесного текста у вокалистов и хора, четкость дикции, внятность речи у чтецов. Другими словами, оценивая музыкальную запись, определяют, достаточно ли хорошо прослушиваются все звуковые линии партитуры, не мешает ли один мелодический материал другому, звучащему с ним одновременно.

Получить в записи прозрачное звучание произведения с одновременно хорошим пространственным впечатлением не так-то просто. Самой прозрачной записью будет та, которая осуществлена с использованием только «близких», индивидуальных микрофонов, однако пространственное впечатление при этом наверняка будет неудачным. По этой причине для получения хорошей пространственности совместно с индивидуальными микрофонами обычно используют один или два общих микрофона, позволяющих получить общую звуковую перспективу.

Прозрачность находится в прямой зависимости от акустической обстановки в помещении записи, а также от инструментовки (аранжировки) исполняемого произведения. Неудовлетворительная прозрачность может иметь место при неудачном смешивании (микшировании) сигналов от индивидуальных источников, а также при неумелой расстановке микрофонов. Так, например, чрезмерно далеко поставленный от рояля микрофон «покажет» его завуалированно, расплывчато, неконкретно, т. е. звучание инструмента будет непрозрачным. В записях легкой эстрадной музыки прозрачность звучания каждой группы ансамбля должна быть особенно четко выражена, нередко даже в ущерб пространственности. Для этого, как уже указывалось, каждую группу исполнителей отсаживают друг от друга и отгораживают ширмами (щитами).

Музыкальный баланс определяется соотношением уровней громкости различных оркестровых групп и отдельных исполнителей. Оценить правильность музыкального баланса даже для неискушенного слушателя не представляет особой сложности. Нарушение баланса сразу ощущается, если, например, оркестр гремит «вовсю», а солиста слышно плохо, или, наоборот, певец «показан» слишком крупно, его слышно очень громко, а оркестр «зажат».

Вместе с тем найти при записи оптимальный музыкальный баланс — одна из труднейших задач, стоящих перед звукорежиссером.

---

* Фактура — средства музыкального изложения, из которых складывается техническая структура произведения. Средствами этими являются: аккорды, мелодия, полифония, фигурация, мелизмы.

Поясним это на наиболее простом примере — записи вокалиста в сопровождении рояля. Как уже указывалось, для такой записи обычно используют два микрофона: один для инструмента, другой для певца. При размещении микрофонов план звучания как для рояля, так и для певца должен быть один, ведь исполнитель на концерте расположен рядом с инструментом. Однако певец должен звучать выпукло, громче, нежели сопровождающий его рояль. Следует подчеркнуть — именно выпукло и громче. Нельзя путать «громче» с «ближе», а «дальше» с «тише», смешивая, таким образом, музыкальный баланс с акустическим. Иными словами, исполнение в записи должно звучать так, как звучит «в натуре», в концерте, где аккомпанемент согласуется по громкости с вокалистом согласно динамическим оттенкам, указанным композитором.

Добиться этого можно как правильным выбором уровней для каждого канала, так и соответствующей расстановкой микрофонов, причем необходимый музыкальный баланс должен быть получен не в ущéрб хорошему пространственному впечатлению и не менее хорошей прозрачности звучания всех групп оркестра или отдельных инструментов. К этому следует добавить, что при прослушивании оркестра непосредственно в помещении записи музыкальный баланс обычно воспринимается иначе, чем при прослушивании через микрофонный тракт, даже если микрофон установлен в той же точке, где находился слушатель. Объяснить это можно бинауральным эффектом при естественном прослушивании и моноуральным восприятием микрофона и прослушивании через громкоговоритель, когда все звуки излучаются из одной точки и слушатель теряет ощущение пространственности.

Тембр как параметр оценки художественно-технического качества записи определяет индивидуальность звучания человеческого голоса, музыкального инструмента и тем самым позволяет различать звучания отдельных инструментов в оркестре и голосов в хоре. Следовательно, запись музыкального произведения будет тем более верной, чем точнее сохранен в ней тембр инструментов, голосов и всего оркестра в целом. Качество передачи тембра зависит в основном от выбора типа микрофона, от акустики помещения записи, от характера и дозы сигнала искусственной реверберации, введенного в записываемую программу, от частотной характеристики канала звукозаписи.

Дополнительно к рассмотренным параметрам при оценке качества записи обращают внимание на правильность выбора среднего ее уровня, точность регулирования и, в частности, незаметность самого регулирования уровней при обеспечении соответствующего динамического диапазона и сохранения контрастов (динамики) записываемого произведения.

В заключение следует сказать о сугубо художественной оценке музыкальных записей, которая предусматривает определение общего качества звучания записываемого произведения — темп исполнения, нюансировку, чистоту интонирования и другие показатели. При записи речи учитывается контрастность тембральной окраски голосов исполнителей, а при записи вокальной группы — строй голосов.

Кроме того, при записи танцевальной, эстрадной или джазовой музыки звукорежиссер обращает внимание на аранжировку, а при записи симфонической или камерной музыки на инструментовку записываемого произведения. Излишне насыщенная, перегруженная инструментовка иногда может сделать произведение настолько не-

удобным для звукозаписи, что самая совершенная техника и любые приемы самой записи не помогут добиться удовлетворительного музыкального баланса при хорошей прозрачности.

Естественно, что способности определять те или иные помехи в записи, а также оценивать записываемую программу, руководствуясь всеми вышеуказанными критериями, вырабатывается постепенно, после соответствующей тренировки. Для этого можно в первую очередь рекомендовать регулярно прослушивать и проводить соответствующий разбор произведений, записанных на грампластинках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Маньковский В. С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. М., «Искусство», 1966.

Нисбетт А. С. Студия радиовещания и звукозаписи. М., «Искусство», 1971.

Дольник А. Г., Эфрусси М. М. Микрофоны. М., «Энергия», 1967.

Бернар Ж. Руководство по записи звука. М., изд-во НМО ГКРТ, 1962.

Богадуров В. А., Гарбузов Н. А. Музыкальная акустика. М., Гос. муз. изд-во, 1954.

Франк Г. Шесть бесед о звуке. М., «Искусство», 1971.

Ганзбург М. Д. Микшеры. М., «Энергия», 1968.

Ефимов А. П. Регулирование уровня и динамического диапазона. М., изд-во ВЗЭИС, 1972.

Горон И. Е. Построение скелетных схем и диаграмм уровней радиовещательных трактов. М., «Связь», 1964.

Безладанов Н. Л., Гликман С. Е. и др. Станционные устройства вещания по проводам. М., Связьиздат, 1955.

Есаков В. Ф., Кудрин И. Г., Шноль М. М. Автоматическая регулировка усиления в усилителях НЧ. М., «Энергия», 1970.

Априков Г. В. Регулируемые усилители. М., «Энергия», 1969.

Нюренберг В. А., Млодзеевская И. А. Автоматические регуляторы уровня вещательных передач. М., Связьиздат, 1963.

Козюренко Ю. И. Искусственная реверберация. М., «Энергия», 1970.

Папернов Л. З. Индикаторы уровня. М., «Связь», 1964.

Меерзон Б. Я. Основы электроакустики и магнитная запись звука. М., изд-во НМО ГКРТ, 1969.

Эфрусси М. М. Громкоговорители и их применение. М., «Энергия», 1971.

Дольник А. Г., Эфрусси М. М. Как сделать радиоустановку с хорошим звучанием. М., изд-во ДОСААФ, 1965.

Резвякова З. Н., Рузанов И. В. Динамический диапазон.—«Труды ВНИИТР», 1972, вып. 2 (21), с. 160—187.

Гроссман А. В. Художественные проблемы передачи звука.— «Труды ВНИИТР», 1972, вып. 2 (21), с. 232—240.

Кудрин И. Г. Техническое оснащение аппаратных звукозаписи и вещания.— «Труды ВНИИТР», 1972, вып. 2 (21), с. 292—314.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 36 коп.